Journal of Agroecology
Homepage: https://agry.um.ac.ir/

Research Article
Vol. 15, No. 2, Summer 2023, p. 403-425

Evaluation of Competitive Indices and Grain Yield of Triticale (× *Triticosecale* Wittmack) – Chickpea (*Cicer arietinum* L.) Intercropping as Affected by Bio-Organic Fertilizer and Water Stress

Ida Rashidipour[1], Vahid Barati[2]* and Ehsan Bijanzadeh[3]

Received: 08-05-2022
Revised: 29-08-2022
Accepted: 01-10-2022
Available Online: 01-10-2022

How to cite this article:
Rashidipour, I., Barati, V., & Bijanzadeh, E. (2023). Evaluation of competitive indices and grain yield of triticale (× *Triticosecale* Wittmack) – chickpea (*Cicer arietinum* L.) intercropping as affected by bio-organic fertilizer and water stress. *Journal of Agroecology*, *15*(2), 403-425.
DOI: 10.22067/agry.2022.76290.1107

Introduction

Todays, efforts to increase crop yields have led to the indiscriminate use of chemical fertilizers, especially nitrogen (N) and phosphorus (P) fertilizers. It has caused soil and groundwater pollution and the destruction of soil microbial communities. Therefore, researchers should look for ways to replace N fertilizers and reduce their side effects. Intercropping of cereals and legumes due to differences in the distribution and depth of roots in the soil profile can reduce competition for water and the survival of these plants in water shortage conditions. Among the methods that may reduce the use of N and P fertilizers and thus reduce sensitivity to water stress is the intercropping of cereals and legumes. Using growth-promoting N-fixing bacteria such as *Azospirillum brasilense* and phosphorus solvents such as *Pseudomonas fluorescens* as biofertilizers can be another way to reduce the use of N and P fertilizers and the adverse effects of water stress. Therefore, this study aimed to investigate the effects of different fertilizer systems [chemical, integrated, and biological] on yield and competitive indices in triticale (× *Triticosecale* Wittmack) - chickpea (*Cicer arietinum* L.) intercropping under water stress conditions in Southern Iran (Fars province).

Materials and Methods

This experiment was performed as a split factorial on a randomized complete block design with three replications in the research farm of the Darab Faculty of Agriculture and Natural Resources-Shiraz University in the 2019-2020 growing season. Experimental treatments included two levels of irrigation (Ir) [Normal: irrigation based on plant water requirement (IR_N) and water stress: irrigation based on plant water requirement up to the milking stage (WS)] as the main factors. The Sub-factors included three sources of fertilizer (F) [Chemical: 50 kg P.ha^{-1} +150 kg N.ha^{-1}, Bio-organic: 40 tons of manure sheep ha^{-1} + inoculation with *Pseudomonas fluorescens* and *Azospirillum brasillens,* Integrated: 25 kg P ha^{-1} + 75 kg N.ha^{-1} + 20 tons of manure sheep ha^{-1} + inoculation with *Pseudomonas fluorescens* and *Azospirillum brasilens*] and three types of cropping systems (Cp) [Monoculture of triticale, monoculture of chickpea, and intercropping of triticale-chickpea (1:1)]. The crops Grain yield were measured, of the crops was measured and competitive indices including land equivalent ratio (LER), aggressivity (A), competitive ratio (CR), and system productivity index (SPI) were computed. The SAS

1- M.Sc. Student, Agro-Ecology Department, Faculty of Agriculture and Natural Resources of Darab, Shiraz University, Shiraz, Iran.
2- Assistant Professor of Agro-Ecology Department, Faculty of Agriculture and Natural Resources of Darab, Shiraz University, Shiraz, Iran.
3- Associate Professor of Agro-Ecology Department, Faculty of Agriculture and Natural Resources of Darab, Shiraz University, Shiraz, Iran
(*- Corresponding author's Email: v.barati@shirazu.ac.ir)

9.1 software was used to analyze the data, and the means were separated using the least significant difference (LSD) test at a 5% probability level.

Results and Discussion

The results showed that the cessation of irrigation after the milking stage put severe stress on the triticale and chickpea during the grain-filling period and reduced the grain yield of both plants. The Ir × F interaction for triticale and chickpea grain yield showed that the lowest reduction of their grain yield (31% and 27%, respectively) was obtained in Bio treatment due to water stress as compared to IR_N. Furthermore, The Ir × Cp interaction for triticale and chickpea grain yield showed that the water stress reduced their grain yield. However, the reductions were lower in the intercropping system of triticale (38%) and chickpea (24%) as compared with their sole cropping. Late season water stress increased triticale, chickpea, and total LER as compared with IR_N conditions by 40, 65 and 51%, respectively. Furthermore, the Ir × F interaction showed that the highest and the lowest reductions (55% and 17%, respectively) of SPI were achieved in chemical and Bio treatments due to water stress conditions.

Conclusions

Based on the results obtained from this study, it can be concluded that the intercropping system of triticale and chickpea is superior to their monocropping under late season water stress conditions. Also, the lowest reduction of chickpea and triticale grain yields as a consequence of water stress was obtained by applying Bio and integrated fertilizers. Therefore, the use of *Azospirillum brasiliens* and *Pseudomonas fluorescens* with sheep manure fertilizer not only mitigates the negative effects of water stress but also reduces the excessive use of N-P chemical fertilizers and their harmful environmental effects, and it can be an effective step for the sustainability of agricultural systems.

Keywords: *Azospirillum*, Cereal and legume, *Pseudomonas*, System productivity

نشریه بوم شناسی کشاورزی
Homepage: https://agry.um.ac.ir/

مقاله پژوهشی
جلد ۱۵، شماره ۲، تابستان ۱٤۰۲، ص ٤۲۵-٤۰۳

ارزیابی شاخص‌های رقابتی و عملکرد کشت مخلوط تریتیکاله (× *Triticosecale* Wittmack) و نخود (*Cicer arietinum* L.) تحت تأثیر کود زیستی- آلی در شرایط تنش آبی

آیدا رشیدی‌پور[1]، وحید براتی[2]* و احسان بیژن‌زاده[3]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۱۸
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۶/۰۷
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۷/۰۹

چکیده

به‌منظور ارزیابی تأثیر منابع مختلف کودی بر عملکرد و شاخص‌های رقابتی تریتیکاله (× *Triticosecale* Wittmack) و نخود (*Cicer arietinum* L.) در کشت مخلوط تریتیکاله و نخود تحت شرایط تنش آبی، آزمایشی به‌صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه پژوهشی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب- دانشگاه شیراز در سال زراعی ۱۳۹۹ـ ۱۳۹۸ انجام شد. تیمارها در دو سطح آبیاری [۱ـ مطلوب: آبیاری بر اساس نیاز آبی گیاه و ۲ـ تنش آبی: آبیاری تا مرحله شیری] به‌عنوان عامل اصلی و سه منبع کودی [شیمیایی: (۵۰ کیلوگرم فسفر بر هکتار + ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن بر هکتار)، زیستی- آلی: (۴۰ تن کود گوسفندی بر هکتار + تلقیح با *سودوموناس فلورسنس* (*Pseudomonas fluorescens*) و *آزوسپیریلوم براسیلنس* (*Azospirillum brasilense*)] و تلفیقی: (۲۵ کیلوگرم فسفر بر هکتار + ۷۵ کیلوگرم نیتروژن بر هکتار + ۲۰ تن کود گوسفندی بر هکتار + تلقیح با باکتری‌های *سودوموناس فلورسنس* و *آزوسپیریلوم براسیلنس*)، و سه الگوی کشت [کشت خالص تریتیکاله، کشت خالص نخود و کشت مخلوط تریتیکاله و نخود (۱:۱)] به‌عنوان عوامل فرعی بودند. نتایج نشان داد، تنش آبی شاخص نسبت برابری زمین هر دو گیاه وکل را افزایش داد. همچنین، بیشترین نسبت برابری کل در تیمار تلفیقی مشاهده شد. شاخص بهره‌وری سیستم به‌واسطه تنش آبی کاهش یافت که کمترین کاهش (۱۷ درصد) در تیمار کود زیستی رخ داد. همچنین، شاخص نسبت رقابتی برای تریتیکاله در تیمار کود شیمیایی و برای نخود در کود زیستی بیشترین مقدار (به‌ترتیب ۱/۳۷ و ۱/۰۲) را داشت. برهم‌کنش تیمار آبیاری × سامانه کودی برای تریتیکاله و نخود نشان داد که بیشترین عملکرد دانه نخود و تریتیکاله در تیمار آبیاری مطلوب و کود تلفیقی به‌ترتیب (۳۵۴۴ و۷۴۵۰ کیلوگرم بر هکتار) به‌دست آمد. همچنین، باتوجه به اینکه کمترین کاهش عملکرد دانه نخود و تریتیکاله به‌واسطه تنش آبی در تیمار کود زیستی (به‌ترتیب ۲۷ و ۳۱ درصد) مشاهده شد، کشت تریتیکاله و نخود با کاربرد کود زیستی جهت تعدیل اثرات منفی تنش آبی توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: *آزوسپیریلوم*، بهره‌وری سیستم، *سودوموناس*، غلات و حبوبات

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه اگرواکولوژی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران.
۲- استادیار، گروه اگرواکولوژی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز، شیراز شیراز، ایران.
۳- دانشیار، گروه اگرواکولوژی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز، شیراز شیراز، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: v.barati@shirazu.ac.ir)

DOI: 10.22067/agry.2022.76290.1107

مقدمه

امروزه تلاش برای افزایش عملکرد محصولات کشاورزی، منجر به استفاده بی‌رویه از کودهای شیمیایی، به‌ویژه کود نیتروژن و فسفر شده است (Basu et al., 2021). تلفات نیتروژن استفاده شده از طریق تصاعد گازهای آمونیاک و اکسیدهای نیتروژن و یا آبشویی نیترات، بازده مصرف کودهای نیتروژن در مزارع غلات را کاسته (Abalos et al., 2014; Linquist et al., 2013; Cui et al., 2010) و سبب بروز آلودگی خاک، آب‌های زیر زمینی و از بین رفتن جوامع میکروبی خاک شده است (Atieno et al., 2020). از این‌رو، علاوه‌بر افزایش هزینه‌های تولید غلات، مخاطرات زیست‌محیطی نیز رو به افزایش است. همچنین، کاربرد سطوح بالای کودهای نیتروژنه به‌ویژه در مناطق جنوبی ایران که با احتمال بروز تنش آبی در مراحل زایشی غلات زمستانه روبرو هستند، سبب افزایش سطح تنش در مرحله پر شدن دانه می‌شود (Niazi Ardakani et al., 2020) (Barati & Ghadiri, 2016). با کاربرد بیش از حد کودهای نیتروژن در این مناطق، به‌دلیل افزایش سطح برگ و اندام‌های رویشی، سطح تعرقی گیاه افزایش یافته و آب موجود در ناحیه ریشه سریع‌تر تخلیه می‌شود؛ بنابراین، گیاه در مرحله پر شدن دانه با کمبود آب مواجه می‌شود (Herwaarden et al., 1998). از این رو، پژوهشگران باید به دنبال راهکارهایی برای جایگزینی کودهای شیمیایی نیتروژنه و کاهش اثرات ناخواسته آن‌ها باشند. از جمله روش‌هایی که ممکن است سبب کاهش استفاده از کودهای شیمیایی نیتروژنه و بنابراین، کاهش حساسیت به تنش آبی شود، کشت مخلوط غلات و بقولات است (Hauggaard & Jensen, 2001). کشت مخلوط به کاشت دو یا چند گونه گیاهی در یک منطقه مشخص گفته می‌شود (Peksen et al., 1995) که روابط مکمل و تسهیل‌کننده را به‌وجود می‌آورند (Duchene et al., 2017).

تسهیل‌کنندگی در کشت مخلوط زمانی اتفاق می‌افتد که گیاهان کاشته شده، محیط را برای گیاهان مجاور خود بهبود بخشیده و رشد و بقای آن‌ها را افزایش دهند (Hauggaard & Jensen, 2005). در سیستم کشت مخلوط غلات با حبوبات، حبوبات نیتروژن موجود در هوا را از طریق همزیستی با باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن، در ریشه تثبیت می‌کنند (Cowell et al., 1989) و بخشی از این نیتروژن تثبیتی در اختیار گیاه غله نیز قرار می‌گیرد (Mazaheri, 1998). بنابراین، در شرایطی که میزان نیتروژن خاک کم است، غلات در کشت مخلوط با حبوبات نسبت به تک کشتی آن، عملکرد بیشتری دارند (Hauggaard et al., 2001). محسن آبادی و همکاران (Mohsen Abadi et al., 2008) نتیجه گرفتند، کشت مخلوط نسبت به تک کشتی‌های جو (*Hordeum vulgare* L.) و ماشک (*Vicia dasycarpa*) از لحاظ کمّی و کیفی برتری داشت. نتایج حاصل از پژوهش نخ زری مقدم (Nakhzari Moghaddam, 2016) نیز، نشان داد در کشت مخلوط جو و نخودفرنگی (*Pisum sativum* L.) شاخص‌های نسبت برابری زمین، غالبیت و نسبت رقابتی در جو بیش از نخودفرنگی بود. کشت مخلوط غلات و بقولات به‌دلیل تفاوت توزیع و عمق ریشه‌ها در پروفایل خاک می‌تواند سبب کاهش رقابت برای آب شده و بقای این گیاهان را در شرایط کمبود آب سبب شود (Mazaheri, 1998). نتایج حاصل از پژوهش حسینعلی‌پور و همکاران (Hosseinali pour et al., 2020) نشان داد، تنش آبی سبب کاهش رشد سیستم ریشه‌ای ارقام گندم از جمله طول و تعداد ریشه‌های اصلی در مرحله رویشی شد. پژوهش دیگری نشان داد، تنش آبی منجر به افزایش عمق ریشه در گیاه نخود شد (Benjamin et al., 2006).

استفاده از باکتری‌های آزادزی تحریک‌کننده رشد و تثبیت‌کننده نیتروژن مانند *آزوسپیریلوم* و حل‌کننده فسفر مانند *سودوموناس* نیز می‌توانند به‌عنوان کود زیستی راهکاری دیگر در جهت کاهش استفاده از کود شیمیایی نیتروژن و فسفر و همچنین کاهش اثرات نامطلوب ناشی از تنش آبی شوند (Ashrafi et al., 2017; Di Salvo et al., 2018). از این باکتری‌ها، به‌عنوان مایع تلقیح استفاده می‌شود و علاوه‌بر تثبیت نیتروژن و حل کردن فسفات، از طریق ترشح اگزو پلی ساکاریدها، تجزیه مواد آلی و تولید سیدروفورها، سبب تحریک رشد ریشه و اندام‌های هوایی شده و به افزایش تولیدات کشاورزی به‌ویژه در شرایط تنش آبی کمک می‌کنند (Kumar & Gopta, 2015; Naik et al., 2019)

پژوهش‌های بسیاری در مورد تأثیر باکتری‌های *سودوموناس* و *آزوسپیریلوم* بر رشد گیاهان مختلف در شرایط مطلوب رطوبتی انجام شده است. از جمله: ریندر و واسار (Reynders & Vassar, 1982) در آزمایشی نشان دادند که پس از تلقیح بذر گندم با باکتری *آزوسپیریلوم براسیلنس*، پنجه‌زنی بیشتر همراه با توانایی جذب مواد

غذایی منجر به افزایش عملکرد شد. از طرفی، دولخانی و همکاران (Dolkhani et al., 2021) اثبات کردند که کاربرد کود تلفیقی (۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن بر هکتار+ باکتری‌های *ازتوباکتر* و *آزوسپیریلوم*) سبب افزایش عملکرد دانه جو شده است. در مقابل، پژوهشگران دیگری به بررسی اثر این باکتری‌ها بر گیاهان مختلف در شرایط تنش آبی پرداختند، از جمله: اولاح و همکاران (Ullah et al., 2019) نشان دادند که این باکتری‌ها می‌توانند در شرایطی که رطوبت خاک کم است، زنده بمانند و سبب افزایش ریشه‌دهی گیاهان و بنابراین، کاهش آثار منفی تنش آبی شوند. همچنین، در پژوهشی پراساد و بابو (Prasad & Babu, 2017) نشان دادند، تلقیح بذر بادام زمینی با باکتری‌های *آزوسپریلوم براسیلنس* و *سودوموناس فلورسنس* به‌ترتیب باعث افزایش رشد ریشه اصلی و ریشه‌های فرعی این گیاه شد، که این افزایش رشد ریشه مقاومت نسبت به تنش آبی را به همراه داشت. همچنین، نیازی اردکانی و همکاران (Niazi Ardakani et al., 2020) در پژوهشی نشان داده‌اند که کاربرد تلفیقی باکتری *آزوسپیریلوم براسیلنس* و کود شیمیایی نیتروژن، تأثیر مثبتی بر عملکرد دانه جو در شرایط تنش آبی داشته است. آن‌ها نتیجه‌گیری کردند که این اثر مثبت ممکن است به‌دلیل اثرات مثبت باکتری *آزوسپیریلوم* بر رشد بیشتر ریشه گیاه جو در شرایط تنش آبی و بهبود جذب آب بوده است.

با توجه به اهمیت گیاه تریتیکاله (*Triticosecale* × Wittmack) و نخود (*Cicer arietinum* L.) در مناطق جنوبی ایران، بررسی برهم‌کنش آن‌ها در شرایط کشت مخلوط و سامانه‌های زیستی و شیمیایی می‌تواند اطلاعات ارزشمندی را برای مدیریت آن‌ها در اختیار کشاورزان این منطقه و مناطق مشابه قرار دهد. از این رو، این پژوهش به بررسی تأثیر سامانه‌های مختلف کودی (شیمیایی، زیستی- آلی و تلفیق آن‌ها) در کشت مخلوط تریتیکاله- نخود تحت شرایط تنش آبی بر عملکرد این دو گیاه و شاخص‌های رقابتی در جنوب استان فارس (داراب) پرداخته است.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه پژوهشی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب- دانشگاه شیراز (طول جغرافیایی ۵۴ و۳۰ شرقی و عرض جغرافیایی ۲۸ و۵۰ شمالی و با ارتفاع ۱۱۸۰ متری از سطح دریا) در سال زراعی ۱۳۹۹ـ ۱۳۹۸ اجرا شد. منطقه داراب با میانگین بارش بلندمدت سالیانه (۲۷ ساله، از ۱۳۷۳ تا ۱۴۰۰) ۲۶۴ میلی‌متر، دارای آب‌وهوای گرم و خشک می‌باشد. وضعیت آب و هوای منطقه داراب در سال زراعی ۱۳۹۹ـ ۱۳۹۸ در جدول ۱ نشان داده شده است. به‌منظور بررسی بافت خاک مزرعه و عناصر غذایی موجود در آن، نمونه‌ای مرکب از عمق۳۰ -۰ سانتی‌متری تهیه و به آزمایشگاه خاک‌شناسی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب فرستاده شد. جدول ۲ نتایج برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک را نشان می‌دهد.

جدول ۱ـ داده‌های هواشناسی شهرستان داراب در سال زراعی ۱۳۹۹ـ ۱۳۹۸
Table 1-Climatic data of Darab during 2019-2020 growing season

ماه‌ها Month	مهر October	آبان November	آذر December	دی January	بهمن February	اسفند March	فروردین April	اردیبهشت May	خرداد June	تیر July	مرداد August	شهریور September
حداقل دما Minimum temperature (°C)	18.4	10.8	6.3	3.9	3.8	7.9	10.8	15.8	21.3	25.4	26.7	23.4
متوسط دما Average temperature (°C)	26.9	18.5	13.0	10.7	11.0	15.5	17.2	23.9	30.9	33.4	34.6	30.6
حداکثر دما Maximum temperature (°C)	35.4	26.2	19.8	17.6	18.3	23.1	23.6	31.9	40.5	41.5	42.5	37.8
بارندگی Rainfall (mm)	0.2	26.1	117.3	122.8	24.6	9.4	158.7	0.0	2.6	1.3	0.0	0.4

جدول ۲- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متر
Table 2- Physical and chemical characteristics of the soil in 0-30 cm depth

ویژگی Characteristics	واحد Unit	مقدار Amount	ویژگی Characteristics	واحد Unit	مقدار Amount
شن Sand	%	38.23	نیتروژن کل Total N	٪	0.09
سیلت Silt	٪	45.10	پتاسیم قابل دسترس Available K	mg.kg^{-1}	340
رس Clay	٪	16.67	فسفر قابل دسترس Available P	mg.kg^{-1}	10.67
کربن آلی O.C.	٪	0.93	آهن قابل دسترس Available Fe	mg.kg^{-1}	6.01
ماده آلی O.M.	٪	1.57	منگنز قابل دسترس Available Mn	mg.kg^{-1}	15.88
قابلیت هدایت الکتریکی EC	dS.m^{-1}	1.07	مس قابل دسترس Available Cu	mg.kg^{-1}	1.54
اسیدیته pH	-	7.49	روی قابل دسترس Available Zn	mg.kg^{-1}	0.63

تیمارهای آزمایش شامل دو سطح آبیاری [۱- مطلوب: آبیاری بر اساس نیاز آبی گیاه تا مرحله رسیدگی فیزیولوژیک و ۲- تنش آبی: آبیاری بر اساس نیاز آبی گیاه تا مرحله شیری (قطع آبیاری پس از مرحله شیری)] به‌عنوان عامل اصلی بود. عامل‌های فرعی شامل سه منبع کودی [۱- تیمار شیمیایی: کود شیمیایی نیتروژن و فسفر (۵۰ کیلوگرم فسفر در هکتار به‌صورت سوپرفسفات تریپل + ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به‌صورت اوره)، ۲- تیمار زیستی- آلی: کود گوسفندی کامل (۴۰ تن در هکتار) + تلقیح با باکتری‌های *سودوموناس فلورسنس* و *آزوسپیریلوم براسیلنس* ۳- تیمار تلفیقی: کود شیمیایی نیتروژن و فسفر به اندازه نصف نیاز گیاه تریتیکاله (۲۵ کیلوگرم فسفر در هکتار + ۷۵ کیلوگرم نیتروژن بر هکتار) + کود گوسفندی به‌اندازه نصف نیاز گیاه تریتیکاله (۲۰ تن کود گوسفندی در هکتار) + تلقیح با باکتری‌های *سودوموناس فلورسنس* و *آزوسپیریلوم براسیلنس*] و سه نوع کشت [۱- کشت خالص تریتیکاله، ۲- کشت خالص نخود، ۳- کشت مخلوط تریتیکاله نخود (۱:۱)] بود که به صورت فاکتوریل در هر تکرار قرار گرفتند. ویژگی‌های کود گوسفندی مورد استفاده در جدول ۳ آمده است.

جدول ۳- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی کود گوسفندی مورد استفاده
Table 3- Physical and chemical characteristics of the sheep manure

ویژگی Characteristics	واحد Unit	مقدار Amount	ویژگی Characteristics	واحد Unit	مقدار Amount
کربن آلی O.C.	%	32.31	پتاسیم قابل دسترس Available K	mg.kg^{-1}	589
اسیدیته pH	-	7.97	مس قابل دسترس Available Cu	mg.kg^{-1}	49
قابلیت هدایت الکتریکی EC	dS.m^{-1}	8.21	منگنز قابل دسترس Available Mn	mg.kg^{-1}	212
نیتروژن کل Total N	%	1.51	روی قابل دسترس Available Zn	mg.kg^{-1}	99
فسفر قابل‌دسترس Available P	mg.kg^{-1}	25.43	آهن قابل دسترس Available Fe	mg.kg^{-1}	2714

جهت آماده سازی زمین، عملیات خاکورزی با گاوآهن برگردان‌دار و دیسک انجام شد. سپس اقدام به کرت بندی در ابعاد ۲×۳/۵ متر شد. قبل از کاشت کود دامی (گوسفندی) به‌مقدار (۴۰ و ۲۰ تن بر هکتار) به زمین اضافه و دو هفته قبل از کاشت با خاک مزرعه مخلوط

شد. پس از آن، آبیاری کرت‌ها به‌منظور پوسیدگی کود دامی انجام گرفت. با توجه به نتایج آزمون خاک، کود سوپرفسفات تریپل ۵۰ کیلوگرم بر هکتار و ۲۵ کیلوگرم بر هکتار یک روز قبل از کاشت به‌صورت نواری بین ردیف‌های کشت هر دو گیاه به زمین اضافه شد. بذر نخود (رقم محلی داراب) (مناسب برای کشت در مناطق گرم و خشک) (Mohavieh Asadi et al., 2019) و بذر تریتیکاله (رقم هاشمی) (رقم زودرس مناسب برای کاشت در اراضی کم‌بازده و گرم و خشک) از مؤسسه تحقیقات، اصلاح و تهیه نهال و بذر تهیه شد و بر روی شش خط کاشت به‌طول سه متر با فاصله ۲۵ سانتی‌متر کاشته شد (فواصل خطوط کاشت یکسان در نظر گرفته شده، امّا فواصل بوته‌ها روی ردیف برای تریتیکاله و نخود متفاوت بود). همچنین، باکتری‌های *آزوسپیریلوم براسیلنس* و *سودوموناس* (10^8 سلول در هر گرم) از مؤسسه تحقیقات آب و خاک تهیه گردید.

ضدعفونی کردن بذرها قبل از کاشت، با محلول هیپوکلریت سدیم یک درصد به‌مدت ۱۰ دقیقه انجام شد و پس از آن بذرها با آب مقطر سترون شستشو و خشک شدند. در مرحله بعد، بذرها به‌مدت ۳۰ ثانیه در محلول شکر ۲۰ درصد قرار گرفتند، تا تمام سطح بذر به‌صورت یکنواخت چسبناک شود. تلقیح بذرهای تریتیکاله و نخود در شرایط آزمایشگاهی و بعد از گندزدایی انجام شد. به این منظور، مایه تلقیح باکتری‌های *آزوسپیریلوم براسیلنس* و *سودوموناس فلورسنس* (در ازای هر کیلوگرم بذر ۲۰ گرم از هر باکتری) به بذرهای چسبناک اضافه شده و بعد از ۴۵ ثانیه تکان دادن ظرف محتوی بذر و باکتری، بذرهای آغشته به مایه تلقیح روی ورقه آلمینیومی تمیز پهن شدند تا در سایه خشک شوند.

عملیات کاشت بر اساس مقدار توصیه شده بذر نخود (۴۰ بوته در مترمربع) و تریتیکاله (۲۰۰ بوته در مترمربع) در تاریخ هشتم دی ماه انجام و پس از آن آبیاری کرت‌ها به‌صورت یکنواخت انجام شد. در تیمارهای کود شیمیایی، کود نیتروژن در سه مرحله سه برگچه‌ای، پنجه‌زنی و ساقه‌دهی، به‌مقدار مساوی به کرت‌ها اضافه و بعد از آن آبیاری انجام شد. همچنین، در تیمارهای کود زیستی- آلی و تلفیقی، علاوه‌بر تلقیح بذرها، باکتری *آزوسپیریلوم براسیلنس* و *سودوموناس فلورسنس* در دو مرحله پنجه‌زنی و ساقه‌دهی، همراه با آب آبیاری به‌مقدار (۱۰ گرم از هر باکتری) در هر کرت استفاده شد (Niazi Ardakani et al., 2020).

در کرت‌های آبیاری مطلوب، محتوای رطوبت خاک به‌روش وزنی اندازه‌گیری شد. به این منظور، تا عمق ۶۰ سانتی‌متری خاک و در فواصل ۳۰ سانتی‌متری نمونه‌برداری با مته از خاک انجام و بعد از وزن‌کردن، خاک به‌مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد درون آون قرار گرفت تا خشک شود (Barati et al., 2015). با کم کردن وزن خاک خشک (پس از قرار دادن درآون) از وزن خاک مرطوب (قبل از قرار دادن در آون) رطوبت خاک به‌دست آمد (Alizadeh, 2001). زمانی که میانگین رطوبت خاک در نقاط اندازه‌گیری شده به کمتر از ۵۰ درصد رطوبت قابل دسترس رسید، آبیاری کرت‌ها انجام و رطوبت زمین در عمق ۶۰-۰ سانتی‌متری به ظرفیت مزرعه رسانده شد (Barati & Ghadiri, 2016).

مقدار آب مورد نیاز برای آبیاری کرت‌ها از طریق معادله ۱ محاسبه و مقدار آب استفاده شده برای هر کرت از روش حجمی- زمانی (Grimes et al., 1987) اندازه‌گیری شد. زمان مورد نیاز برای آبیاری کرت‌ها با توجه به دبی آب خروجی از لوله‌های تعبیه شده برای آبیاری به‌دست آمد. در کرت‌های مربوط به تیمار تنش آبی، آبیاری تا انتهای مرحله شیری انجام شد.

$$D = \sum_{i=1}^{n} (\theta_{fci} - \theta_i)\, \Delta Z_i \qquad \text{معادله(۱)}$$

که در آن، D: عمق آب آبیاری (میلی‌متر)، i: یک لایه، n: تعداد لایه‌های خاک، θ_{fci}: محتوای حجمی رطوبت خاک در حالت ظرفیت مزرعه (سانتی‌مترمکعب بر سانتی‌مترمکعب)، θ_i: محتوای حجمی رطوبت خاک (سانتی‌مترمکعب بر سانتی‌مترمکعب) در i امین لایه خاک و ΔZ_i: ضخامت هر لایه (میلی‌متر) می‌باشند.

پس‌از مرحله رسیدگی فیزیولوژیک تریتیکاله و نخود، در تاریخ ۱۴ خرداد، به‌منظور تعیین عملکرد دانه از وسط هر کرت یک ردیف به طول یک متر از سطح خاک هر کرت کف بر شد (۵۰ سانتی‌متر ابتدا و انتهای هر ردیف و همچنین دو ردیف کناری هر کرت به‌عنوان اثر حاشیه‌ای در نظر گرفته شد). لازم به ذکر است که به‌منظور یکسان بودن سطح برداشت در کشت مخلوط و خالص برای هر دو گیاه، مساحتی مساوی در شرایط کشت خالص و مخلوط برای هر دو گیاه برداشت شد. به‌منظور بررسی میزان رقابت بین اجزای کشت مخلوط از معادله‌های جدول ۳ استفاده شده است.

تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1 انجام شد. میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای جدید دانکن در سطح احتمال پنج درصد مقایسه و شکل‌ها با استفاده از نرم‌افزار Excel رسم شدند.

جدول ٤- شاخص‌های رقابت در کشت مخلوط

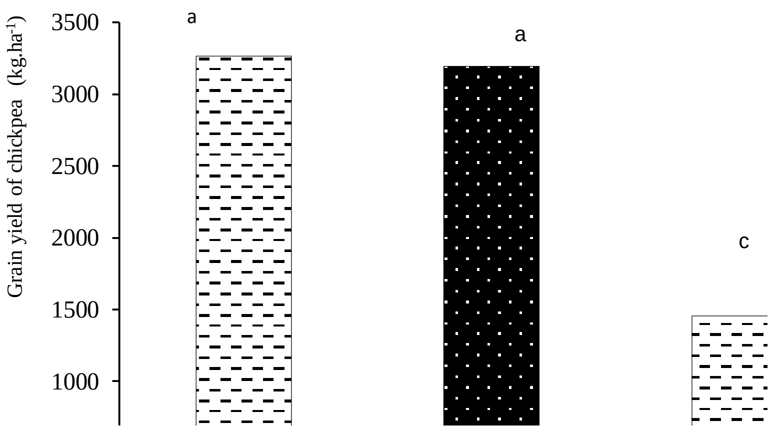
Table 4- Competition indices in intercropping

شاخص **index**	معادله **Equation**	توضیحات معادله **Explain Equation**
نسبت برابری زمین Land equivalent ratio	$(LER) = (Y_{ab} / Y_{aa})+(Y_{ba} / Y_{bb})$	عملکرد تریتیکاله (a) در کشت مخلوط Y_{ab}: Yield of triticale (a) in intercropping
نسبت رقابتی تریتیکاله Competitive ratio (a)	$(CR_a) = (LER_a / LER_b)\times(Z_{ba} / Z_{ab})$	عملکرد نخود (b) در کشت مخلوط Y_{ba}: Yield of chickpea (b) in intercropping
نسبت رقابتی نخود Competitive ratio (b)	$(CR_b) = (LER_b / LER_a)\times(Z_{ab} / Z_{ba})$	عملکرد تریتیکاله (a) در کشت خالص Y_{aa}: Yield of triticale (a) in sole cropping
غالبیت تریتیکاله Aggressivity (a)	$(A_a) = (Y_{ab} / Y_{aa} \times Z_{ab}) – (Y_{ba} /Y_{bb} \times Z_{ba})$	عملکرد نخود (b) در کشت خالص Y_{bb}: Yield of chickpea (b) in sole cropping
غالبیت نخود Aggressivity (b)	$(A_b) = (Y_{ba} / Y_{bb} \times Z_{ba}) – (Y_b / Y_{aa} \times Z_{ab})$	نسبت تریتیکاله (a) در کشت مخلوط Z_{ab}: Rate of triticale (a) in intercropping
شاخص بهره‌وری سیستم System productivity index	$(SPI) = (Y_{bb}/Y_{aa})\ Y_{ba} +Y_{ab}$	نسبت نخود (b) در کشت مخلوط Z_{ba}: Rate of chickpea (b) in intercropping

نتایج و بحث

عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد، برهم‌کنش رژیم آبیاری × الگوی کاشت بر عملکرد دانه نخود در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۵). در تیمار آبیاری مطلوب، اگرچه تیمارهای کشت خالص و کشت مخلوط تفاوت معنی‌داری با هم نداشتند. نخود در شرایط تنش آبی نسبت به آبیاری مطلوب رطوبتی رفتار متفاوتی را نشان داد، به این صورت که بین تیمارهای کشت خالص و کشت مخلوط، تفاوت معنی‌داری وجود داشت. در تیمار تنش آبی، عملکرد نخود (۲۴۱۶ کیلوگرم در هکتار) در تیمار کشت مخلوط به‌دست آمد که به‌طور معنی‌دار و به‌میزان ۶۵/۹ درصد بیشتر از عملکرد نخود در شرایط کشت خالص (۱۴۵۶ کیلوگرم در هکتار) بود (شکل ۱). بررسی این برهم‌کنش از منظری دیگر، نشان داد که تنش آبی منجر به کاهش ۵۵/۴ و ۲۴/۳ درصدی عملکرد دانه نخود نسبت به شرایط مطلوب رطوبتی به‌ترتیب در تیمارهای کشت خالص و مخلوط شد.



شکل ۱- اثر برهم‌کنش رژیم آبیاری و الگوی کاشت بر عملکرد دانه نخود

Fig. 1- Interaction effect of irrigation regime and cropping pattern on grain yield of chickpea

میانگین‌های با حروف مشابه بر اساس آزمون چند دامنه‌ای جدید دانکن ، تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Sole-cropping : کشت خالص، Inter-cropping: کشت مخلوط، IR_N: آبیاری مطلوب، WS: تنش آبی

The means followed by the same letters are not significantly different at 5% probability level using the Duncan’s new multiple range test. IR_N: normal irrigation and WS: water stress

جدول ۵- تجزیه واریانس اثر رژیم آبیاری، الگوهای کاشت و سامانه کودی بر عملکرد دانه تریتیکاله و نخود
Table 5- Analysis of variance for the effect of irrigation regime, cropping pattern and fertilizer system on grain yield of triticale and chickpea

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean of squares	
		عملکرد دانه تریتیکاله Grain yield of triticale	عملکرد دانه نخود Grain yield of chickpea
تکرار Replication	2	23001ns	16774ns
رژیم آبیاری Irrigation regime (Ir)	1	82716296**	1505520*
خطای (الف) Error (a)	2	252273ns	247458**
الگوی کاشت Cropping pattern (CP)	1	15000516**	1764912**
سامانه کودی Fertilizer system (Fs)	2	5751212**	5315787**
Ir × CP	1	1029108*	2404050**
Ir × Fs	2	5141185**	758100**
CP × Fs	2	247121ns	1044909**
Ir × CP × Fs	2	116314ns	14493ns
خطای (ب) Error (b)	20	139990.1	29690.07
ضریب تغییرات CV€ (%)		7.40	6.67

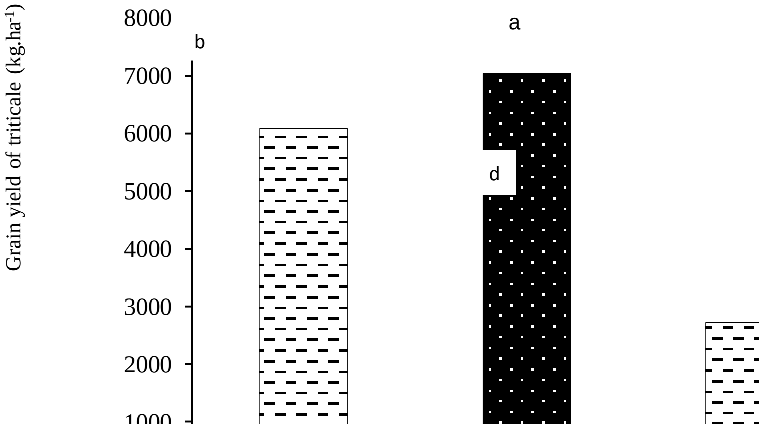
* و **: به‌ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد، ns: غیرمعنی‌داری، €: ضریب تغییرات

* and **: significant at the 5% and 1% probability levels respectively, ns: Non significant; €: Coefficient of variation

نتایج تجزیه واریانس نشان داد، برهم‌کنش رژیم آبیاری × الگوی کاشت بر عملکرد دانه تریتیکاله در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۵). تنش آبی سبب کاهش ۵۵/۳ و ۳۸/۲ درصدی عملکرد دانه تریتیکاله به‌ترتیب در تیمارهای کشت خالص و مخلوط شد (شکل ۲). در تیمار آبیاری مطلوب، عملکرد دانه تریتیکاله در کشت مخلوط (۷۰۴۵ کیلوگرم در هکتار) به‌طور معنی‌دار و به‌میزان ۱۳/۵ درصد بیشتر از کشت آن به‌صورت خالص بود. در شرایط تنش آبی، الگویی مشابه با شرایط آبیاری مطلوب برای تریتیکاله وجود داشت. در شرایط تنش آبی نیز، تیمار کشت مخلوط (۴۳۵۲ کیلوگرم در هکتار) عملکرد دانه بیشتری نسبت به کشت خالص تریتیکاله به‌دست آمد که به‌طور معنی‌داری و به‌میزان ۳۷ درصد بیشتر بود (شکل ۲).

به‌طور کلی، اثر برهم‌کنش رژیم آبیاری × الگوی کاشت بر عملکرد دانه تریتیکاله و نخود نشان داد، تنش آبی منجر به کاهش عملکرد دانه نخود و تریتیکاله در شرایط کشت خالص و مخلوط شد (شکل‌های ۱ و ۲). با توجه به اینکه در هر دو شرایط آبیاری (مطلوب و تنش)، عملکرد تریتیکاله در تیمار کشت مخلوط به‌طور معنی‌داری بیشتر از کشت خالص بوده است، به نظر می‌رسد این امر به‌دلیل جوانه‌زنی سریع‌تر تریتیکاله نسبت به نخود بوده است. در این شرایط، تریتیکاله در استفاده از آب و مواد غذایی خاک، از نخود پیشی گرفته و این اختلاف فاز در رشد دو گیاه سبب تولید سطح برگ بیشتر، استفاده کاراتر از نورخورشید و بنابراین، فتوسنتز، زیست‌توده و عملکرد دانه بیشتر تریتیکاله شده است. از این رو، می توان گفت که این برتری رقابتی در مراحل ابتدایی زندگی تریتیکاله نسبت به نخود، سبب غالبیت این گیاه در سایر مراحل زندگی آن‌ها شده و یکی از دلایل اصلی بیشتر بودن عملکرد دانه تریتیکاله در کشت مخلوط، نسبت به کشت خالص آن بوده است.

همچنین، در تأیید این بحث، برخی دیگر از پژوهشگران (Pelzer et al., 2014 ;Bedoussac & Justes, 2011) نیز اثبات کرده‌اند که کاهش رقابت درون گونه‌ای غلات در شرایط کشت مخلوط با حبوبات، در کنار برتری رقابتی غلات نسبت به حبوبات (کمتر بودن رقابت بین گونه‌ای) سبب افزایش عملکرد غلات در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص آن شده است.



شکل ۲- اثر برهم‌کنش رژیم آبیاری و الگوی کاشت بر عملکرد دانه تریتیکاله

Fig. 2- Interaction effect of irrigation regime and cropping pattern on grain yield of triticale

میانگین‌های با حروف مشابه بر اساس آزمون چند دامنه‌ای جدید دانکن، تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Sole-cropping : کشت خالص، Inter-cropping: کشت مخلوط، IR_N: آبیاری مطلوب، WS: تنش آبی

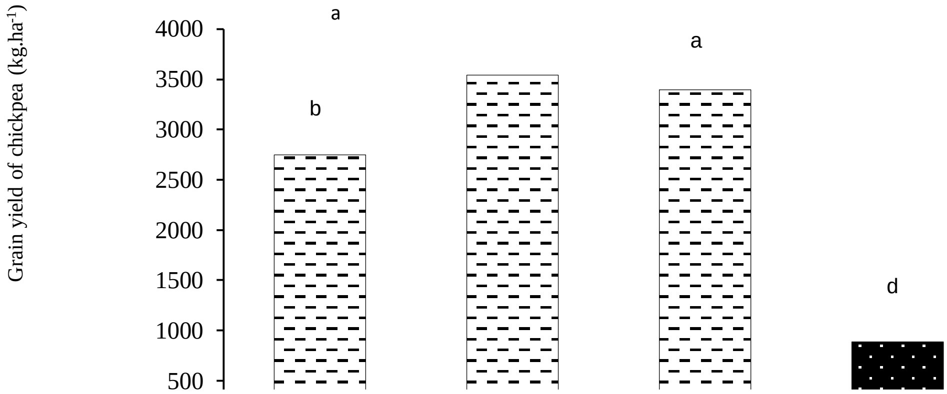
The means followed by the same letters are not significantly different at 5% probability level using the Duncan's new multiple range test. IR_N: normal irrigation and WS: water stress

بر اساس نتایج آزمایش حاضر، اعمال تنش آبی عملکرد دانه تریتیکاله را کاهش داد. امّا، این کاهش در کشت خالص نسبت به کشت مخلوط آن بیشتر (به‌ترتیب ۵۵/۳ و ۳۸/۲ درصد) بود (شکل ۲). این نتیجه به‌طور عمومی نشان می‌دهد که در شرایط تنش آبی به دلیل افزایش سطح رقابت در مزرعه بر سر یک محدودیت جدی (کمبود آب) نسبت به شرایط مطلوب، کاهش عملکرد دانه را خواهیم داشت. امّا، چون در کشت مخلوط تریتیکاله و نخود ریشه‌های تریتیکاله افشان و سطحی بوده و ریشه‌های نخود در عمق پروفایل خاک فرو می‌روند، عملاً به‌دلیل جذب آب از دو عمق متفاوت سطح رقابت نسبت به کشت خالص کاهش خواهد یافت و این کاهش میزان رقابت سبب کاهش کمتر عملکرد دانه تریتیکاله به‌واسطه تنش آبی در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص شده است. براتی و همکاران (Barati et al., 2020) نیز در پژوهشی بر روی یونجه (*Medicago sativa* L.) و علف پشمکی (*Bromus tomentellus* Boiss) نشان دادند، علف پشمکی به‌دلیل داشتن ریشه‌های افشان از رطوبت موجود در سطح خاک استفاده می‌کند، امّا یونجه به‌دلیل دارا بودن ریشه اصلی از رطوبت موجود در لایه‌های عمیق‌تر خاک استفاده می‌کند. بنابراین، دو گونه در استفاده از رطوبت خاک به‌دلیل تفاوت در گستردگی ریشه، به‌صورت مکمل عمل کرده و باعث افزایش کارایی مصرف آب در کشت مخلوط تحت تنش آبی می‌شوند.

برهم‌کنش رژیم آبیاری × سامانه‌های کودی بر عملکرد دانه نخود در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۵). در هر دو رژیم آبیاری، نخود رفتار مشابهی را در تیمارهای کودی نشان داد. در شرایط آبیاری مطلوب، بیشترین عملکرد دانه نخود در تیمار کود تلفیقی به‌میزان (۳۵۴۴ کیلوگرم در هکتار) به‌دست آمد که تفاوت معنی‌داری با تیمار زیستی- آلی نداشت (شکل ۳). در شرایط تنش آبی بیشترین عملکرد دانه نخود در تیمار زیستی- آلی (۲۴۷۷ کیلوگرم در هکتار) به‌دست آمد که تفاوت معنی‌داری با تیمار تلفیقی نشان نداد (شکل ۳). تنش آبی منجر به کاهش ۶۷/۸ ، ۳۰/۹ و ۲۷ درصدی عملکرد نخود به‌ترتیب در تیمارهای شیمیایی، تلفیقی و زیستی- آلی شد.

برهم‌کنش رژیم آبیاری × سامانه‌های کودی بر عملکرد دانه تریتیکاله در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۵). در شرایط آبیاری مطلوب، بیشترین و کمترین عملکرد دانه تریتیکاله به‌ترتیب در تیمار کود تلفیقی (۷۴۵۰ کیلوگرم در هکتار) و شیمیایی (۶۹۷۰ کیلوگرم در هکتار) به‌دست آمد. امّا، در شرایط تنش آبی، بیشترین و کمترین عملکرد دانه تریتیکاله به‌ترتیب در تیمار کود تلفیقی (۴۱۹۰ کیلوگرم در هکتار) و زیستی- آلی (۳۶۶۳ کیلوگرم درهکتار) به‌دست آمد (شکل ۴). بررسی این برهم‌کنش از منظری دیگر نشان داد که تنش آبی منجر به کاهش ۶۰/۴ ، ۴۳/۷ و ۳۰/۷

درصدی عملکرد دانه تریتیکاله به‌ترتیب در تیمارهای شیمیایی، تلفیقی و زیستی- آلی نسبت به شرایط مطلوب رطوبتی شد (شکل ۴). نیازی اردکانی و همکاران (Niazi Ardakani et al., 2019) نیز نتیجه گرفتند که در شرایط آبیاری مطلوب و تنش آبی، بیشترین عملکرد جو در تیمار کود تلفیقی (تلقیح با باکتری *آزوسپیریلوم* و کاربرد ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن) مشاهده شد.



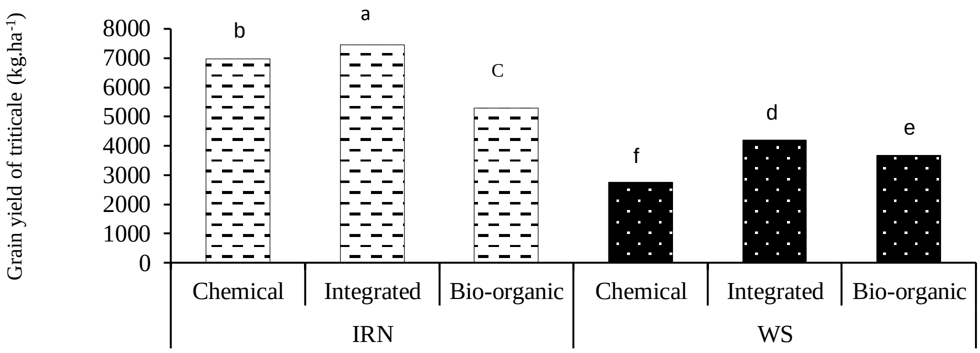
شکل ۳- اثر برهم‌کنش رژیم آبیاری و سامانه کودی بر عملکرد دانه نخود

Fig. 3- Interaction effect of irrigation regime and fertilizer system on grain yield of chickpea

میانگین‌های با حروف مشابه بر اساس آزمون چند دامنه‌ای جدید دانکن ، تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

شیمیایی: ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن + ۵۰ کیلوگرم در هکتار فسفر، تلفیقی: ۷۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن + ۲۵ کیلوگرم در هکتار فسفر + ۲۰ تن در هکتار کود گوسفندی + تلقیح بذر با باکتری‌های *آزوسپریلوم براسیلنس* و *سودوموناس فلورسنس*، زیستی- آلی: ۴۰ تن در هکتار کود گوسفندی + تلقیح بذر با باکتری‌های *سودوموناس فلورسنس* و *آزوسپریلوم براسیلنس*، IRN: آبیاری مطلوب، WS: تنش آبی

The means followed by the same letters are not significantly different at 5% probability level using the **Duncan's new multiple range test.** Chemical: 150 kg N .ha^{-1} + 50 kg P .ha^{-1}, Integrated: 75 kg N .ha^{-1} + 25 kg P .ha^{-1} + 20 ton.ha^{-1} of sheep manure + seed inoculation with *Azospirillum brasilense* and *Pseudomonas fluorescens*, Bio-organic: 40 ton.ha^{-1} of sheep manure + Seed inoculation with *Pseudomonas fluorescens* and *Azospirillum brasilense*, IR$_N$: normal irrigation and WS: water stress



شکل ٤- اثر برهم‌کنش رژیم آبیاری و سامانه کودی بر عملکرد دانه تریتیکاله

Fig. 4- Interaction effect of irrigation regime and fertilizer system on grain yield of triticale

میانگین‌های با حروف مشابه بر اساس آزمون چند دامنه‌ای جدید دانکن، تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

شیمیایی: ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن + ۵۰ کیلوگرم بر هکتار فسفر، تلفیقی: ۷۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن + ۲۵ کیلوگرم در هکتار فسفر + ۲۰ تن در هکتار کود گوسفندی + تلقیح بذر با باکتری‌های *آزوسپریلوم براسیلنس* و *سودوموناس فلورسنس*، زیستی- آلی: ۴۰ تن در هکتار کود گوسفندی + تلقیح بذر با باکتری‌های *سودوموناس فلورسنس* و *آزوسپریلوم براسیلنس*، IRN: آبیاری مطلوب، WS: تنش آبی

The means followed by the same letters are not significantly different at 5% probability level using the Duncan's new multiple range test. Chemical: 150 kg N.ha^{-1} + 50 kg P.ha^{-1}, Integrated: 75 kg N.ha^{-1} + 25 kg P.ha^{-1} + 20 ton.ha^{-1} of sheep manure + seed inoculation with *Azospirillum brasilense* and *Pseudomonas fluorescens*, Bio-organic: 40 ton.ha^{-1} of sheep manure + seed inoculation with *Pseudomonas fluorescens* and *Azospirillum brasilense*, IR$_N$: normal irrigation and WS: water stress

اثر برهم‌کنش رژیم‌آبیاری × سامانه کودی بر عملکرد دانه تریتیکاله و نخود نشان داد که، تنش آبی باعث کاهش عملکرد دانه آن‌ها در همه تیمارها شد. امّا، این کاهش عملکرد در تیمارهای مختلف متفاوت بود. با توجه به اینکه کمترین کاهش عملکرد نخود (۲۷ درصد) و تریتیکاله (۳۰/۷ درصد) در شرایط قطع آبیاری نسبت به آبیاری مطلوب، در تیمار کود زیستی- آلی مشاهده شد (شکل‌های ۳ و ۴)، می‌توان نتیجه گرفت که حضور باکتری‌های *آزوسپیریلوم براسیلنس* و *سودوموناس فلورسنس*به‌عنوان باکتری‌های محرک رشد در تیمار زیستی- آلی سبب تحریک رشد ریشه‌ها و بنابراین جذب بیشتر آب (داده‌ها نشان داده نشده است) در شرایط تنش آبی و کاهش پیامدهای تنش آبی از جمله محدودیت عملکرد دانه شده است. از طرفی، وجود کود حیوانی در تیمار زیستی- آلی به‌واسطه ایجاد تخلل بیشتر و در نتیجه، ایجاد شرایط هوازی برای فعالیت این باکتری‌ها و همچنین به‌عنوان منبع کربوهیدرات برای آن‌ها سبب افزایش اثرات مثبت باکتری‌ها در رشد ریشه‌ها شده است. علاوه‌براین، کود حیوانی به‌عنوان ماده آلی سبب افزایش قابلیت نگهداری آب در خاک شده و اثرات تنش آبی را برای گیاه و باکتری‌ها کاهش می‌دهد (Singh et al., 2011).

بیشترین کاهش عملکرد در شرایط قطع آبیاری، در تیمار کود شیمیایی مشاهده شد (شکل‌های ۳ و ۴). کاهش بیشتر عملکرد در تیمار کود شیمیایی تحت تنش آبی، به پدیده "Haying-off" نسبت داده می‌شود (Herwaarden, 1995). چنین به نظر می‌رسد که در شرایطی که از کود شیمیایی به‌مقدار زیادی استفاده شود، به‌دلیل تولید بیشتر زیست‌توده و افزایش سطح برگ، میزان تعرق از سطح برگ افزایش یافته و نیمرخ خاک سریع‌تر از رطوبت تخلیه می‌شود، و گیاه در انتهای فصل با تنش آبی شدیدتری مواجه می‌شود. در نتیجه، فتوسنتز کاهش یافته و عملکرد دانه کاهش پیدا می‌کند (Barati & Ghadiri, 2016). برخی دیگر از آزمایشات در مورد تریتیکاله (Barati & Bijanzadeh, 2020)، جو (Niazi Ardakani et al., 2020) و گندم دوروم (*Triticum durum* L.) (Ercoli et al., 2008) نیز یافته‌های پژوهش حاضر را تأیید می‌کنند.

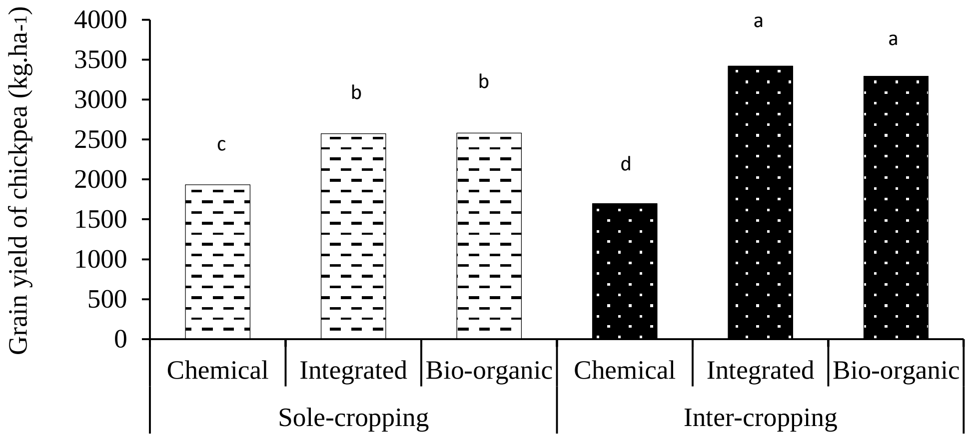
برهم‌کنش الگوی‌کشت × سامانه‌کودی بر عملکرد دانه نخود در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۵). این برهم‌کنش نشان داد که در کشت خالص اگر چه عملکرد دانه نخود در سامانه کودی تلفیقی و زیستی- آلی (به‌ترتیب ۲۵۷۲ و ۲۵۸۱ کیلوگرم در هکتار) تفاوت معنی‌داری نداشتند. امّا، به‌طور معنی‌دار و به‌میزان ۲۵ درصد عملکرد دانه نخود را نسبت به تیمار کود شیمیایی افزودند (شکل ۵). روندی مشابه کشت خالص، در شرایط کشت مخلوط نیز مشاهده شد. در تیمار کشت مخلوط، بیشترین عملکرد دانه نخود در سامانه کودی تلفیقی (۳۴۲۰ کیلوگرم درهکتار) به‌دست آمد. این در حالی بود که با عملکرد نخود در تیمار زیستی- آلی (۳۲۹۴ کیلوگرم در هکتار) اختلاف معنی‌داری نداشت. امّا، تیمار تلفیقی و زیستی- آلی عملکرد دانه نخود را نسبت به تیمار کود شیمیایی (۱۶۹۸ کیلوگرم در هکتار) به‌طور معنی‌دار و به‌ترتیب به‌میزان ۱۰۱/۴ و ۹۳/۹ درصد افزایش دادند (شکل ۵).

گیاه نخود، همزیست با باکتری لگومینوز[1] است و در شرایطی که این باکتری در خاک حضور داشته باشند، نیاز این گیاه به کود نیتروژن به‌مقدار زیادی برطرف می‌شود و تنها به‌مقدار کمی کود نیتروژن در ابتدای فصل رشد و قبل از تشکیل گره‌های تثبیت‌کننده نیتروژن نیاز دارد. برخی پژوهشگران (Rupela & Saxena, 1986; Herridge et al., 1995; Marcellos et al., 1998; Pilbeam et al., 1998; Carranca et al., 1999; Kumar & Abbo, 2001) گزارش نموده‌اند که نخود می‌تواند تا ۱۴۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار را در هر فصل رشد تثبیت کند. بنابراین، استفاده از تیمار تلفیقی (کود شیمیایی و کود دامی به اندازه نصف نیاز گیاه + تلقیح با باکتری) و زیستی- آلی (کود دامی + تلقیح با باکتری) در شرایط کشت خالص و مخلوط می‌توانند عناصر مورد نیاز از جمله نیتروژن و فسفر را به‌طور آهسته و در تمام طول فصل رشد در اختیار گیاه نخود قرار دهد (Barker, 2016).

این در حالی است که استفاده از سطوح بالای کود نیتروژن به صورت شیمیایی، علاوه‌بر اینکه مانع از تشکیل گره‌های تثبیت‌کننده نیتروژن می‌شود (Mazaheri, 1998)، تغذیه متعادلی از عناصر غذایی را برای گیاه فراهم نمی‌آورد. رضایی چیانه و همکاران (Rezaei Chiyaneh et al., 2019) نیز در پژوهشی بر روی کشت مخلوط نخود و جو نشان دادند، بیشترین عملکرد دانه نخود در شرایط کشت خالص و مخلوط در تیمارهای کودی تلفیقی (کود شیمیایی + کود زیستی) به‌دست آمد که بیشتر از عملکرد دانه حاصل از کاربرد کود شیمیایی کامل بود. بر اساس نتایج به‌دست آمده از پژوهش سعیدی و همکاران (Saeidi et al., 2018) نیز، در کاربرد تلفیقی کود زیستی

1- *Rhizobium*

به‌همراه ۶۰ درصد کود شیمیایی (اوره + سوپرفسفات تریپل) در کشت مخلوط گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) و باقلا (*Vicia faba* L.)، عملکرد هر دو گیاه افزایش یافت.



شکل ۵- اثر برهم‌کنش الگوی کاشت و سامانه کودی بر عملکرد دانه نخود

Fig. 5- Interaction effect of cropping pattern and fertilizer system on grain yield of chickpea

میانگین‌های با حروف مشابه بر اساس آزمون چند دامنه‌ای جدید دانکن، تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند

شیمیایی: ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن + ۵۰ کیلوگرم بر هکتار فسفر، تلفیقی: ۷۵ کیلوگرم بر هکتار نیتروژن + ۲۵ کیلوگرم بر هکتار فسفر + ۲۰ تن در هکتار کود گوسفندی + تلقیح بذر با باکتری‌های *آزوسپیریلوم براسیلنس* و *سودوموناس فلورسنس*، زیستی- آلی: ۴۰ تن در هکتار کود گوسفندی + تلقیح بذر با باکتری‌های *سودوموناس فلورسنس* و *آزوسپیریلوم براسیلنس*، در کشت خالص و کشت مخلوط

The means followed by the same letters are not significantly different at 5% probability level using the Duncan's new multiple range test. Chemical: 150 kg N.ha^{-1} + 50 kg P.ha^{-1}, Integrated: 75 kg N.ha^{-1} + 25 kg P.ha^{-1} + 20 ton.ha^{-1} of sheep manure + seed inoculation with *Azospirillum brasilense* and *Pseudomonas fluorescens*, Bio-organic: 40 ton.ha^{-1} of sheep manure + seed inoculation with *Pseudomonas fluorescens* and *Azospirillum brasilense*, in solecropping and intercropping

نسبت برابری زمین

شاخص نسبت برابری زمین (LER) یکی از شاخص‌هایی است که برتری کشت مخلوط را نسبت به کشت خالص نشان می‌دهد (Fetene, 2003) و به‌طور گسترده‌ای کارایی استفاده از زمین در کشت مخلوط را توصیف می‌کند (Mead & Willey, 1980). این شاخص از حاصل جمع دو جزء تشکیل شده است. در جزء اول (مربوط به گیاه غله) عملکرد دانه تریتیکاله در کشت مخلوط بر عملکرد دانه تریتیکاله در کشت خالص تقسیم می‌شود و در جزء دوم، عملکرد دانه نخود در کشت مخلوط بر عملکرد دانه نخود در کشت خالص تقسیم می‌شود (جدول ۴). اگر عدد حاصل از هر جزء بیشتر از ۰/۵ باشد، نشان‌دهنده برتری کشت مخلوط در جزء مربوطه است.

در تمام تیمارهای آزمایش، نسبت برابری زمین کل بالاتر از یک بود که نشان‌دهنده مطلوب بودن سامانه کشت مخلوط تریتیکاله و نخود می‌باشد (جدول ۶). نتایج تجزیه واریانس شاخص برابری زمین نشان داد، شاخص برابری زمین برای تریتیکاله، نخود و کل به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر رژیم آبیاری قرار گرفت (جدول ۶). تنش آبی سبب افزایش نسبت برابری زمین تریتیکاله، نخود و کل به‌ترتیب به‌میزان ۳۹/۶، ۶۵/۳ و ۵۱/۴ درصد نسبت به شرایط مطلوب رطوبتی شد. (جدول ۷). برخی از پژوهشگران نیز، در کشت مخلوط جو/نخود (Mohavieh Asadi et al., 2019) و جو/باقلا (Niksirat et al., 2018) نتایج مشابهی را به‌دست آوردند.

شاخص برابری زمین در نخود تحت تأثیر سامانه کودی نیز قرار گرفت (جدول ۶). نسبت برابری زمین برای نخود، در تیمارهای کود تلفیقی و زیستی- آلی به‌طور معنی‌دار و به‌ترتیب به‌میزان ۲۶/۷ و ۲۱/۴ درصد بیشتر از شاهد (کود شیمیایی) بود (جدول ۷). نتایج به‌دست آمده (شکل ۵) نشان داد، بیشترین عملکرد نخود در کشت مخلوط و در سامانه‌های کودی تلفیقی و زیستی- آلی مشاهده شد که با هم اختلاف معنی‌داری نیز نداشتند. با توجه به اینکه نسبت برابری زمین رابطه مستقیمی با عملکرد محصول در کشت مخلوط دارد (جدول ۴)، نسبت برابری زمین در این تیمارها نیز بیشترین میزان را

به خود اختصاص داده است. سعیدی و همکاران (Saeidi et al., 2019) در کشت مخلوط گلرنگ/باقلا نیز، نتایج مشابهی را بهدست آوردند، به‌طوری‌که بیشترین عملکرد دانه گلرنگ و بیشترین نسبت برابری زمین، در تیمار کود تلفیقی (۶۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن و فسفر + ازتوبارور ۱ و ۲) به‌دست آمد.

جدول ٦- تجزیه واریانس اثر رژیم کم آبیاری و سامانه کودی بر نسبت برابری زمین، نسبت رقابتی، غالبیت و شاخص بهره‌وری سیستم کشت مخلوط تریتیکاله با نخود

Table 6- Analysis of variance for effect of deficit irrigation regime and fertilizer system on the land equivalent ratio (LER), competitive ratio (CR), aggressivity (A), and system productivity index (SPI) of triticale and chickpea intercropping

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean of squares							
		نسبت برابری زمین LER			نسبت رقابتی CR		غالبیت A		شاخص بهره‌وری SPI
		تریتیکاله Triticale	نخود Chickpea	کل Total	تریتیکاله Triticale	نخود Chickpea	تریتیکاله Triticale	نخود Chickpea	
تکرار (R) Replication	2	0.0131^{ns}	0.0006^{ns}	0.0081^{ns}	0.0227^{ns}	0.0219^{ns}	0.0774^{ns}	0.0774^{ns}	34382^{ns}
رژیم آبیاری (Ir) Irrigation regime	1	0.2473**	0.4802**	1.4000**	0.2112^{ns}	0.1300^{ns}	0.1494^{ns}	0.1494^{ns}	10689609**
خطای (الف) Error (a)	2	0.0036	0.0091	0.0016	0.0595	0.0452	0.0916	0.0916	101286
سامانه کودی Fertilizer system (Fs)	2	0.0032^{ns}	0.0381**	0.0247^{ns}	0.2750**	0.1168**	0.2404*	0.2404*	1806012**
Ir × Fs	2	0.0022^{ns}	0.0024^{ns}	0.0089^{ns}	0.0415^{ns}	0.0106^{ns}	0.0021^{ns}	0.0021^{ns}	1123474**
خطای (ب) Error (b)	8	0.0092222	0.0018167	0.0141889	0.0148778	0.0115361	0.0317889	0.0317889	35758.27
ضریب تغییرات CV€ (%)		13.83	6.55	8.85	10.89	11.51	11.22	12.63	5.20

* و **: به‌ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد. ns: غیرمعنی‌داری.

* and **: significant at the 5% and 1% probability levels, respectively; ns: non significant; €: Coefficient of variation

گیاهان زراعی که با تراکم بالا کشت می‌شوند (مانند غلات) به مقادیر نیتروژن بیشتری احتیاج دارند که از خاک برداشت می‌کنند (Barker, 2016). زمانی که در کشت مخلوط تریتیکاله با نخود، از کود شیمیایی به‌ویژه نیتروژن به‌مقدار زیاد استفاده شود، تریتیکاله از نیتروژن قابل دسترس استفاده نموده و با افزایش زیست‌توده، از طریق سایه‌اندازی بر روی نخود، عملکرد نخود را در کشت مخلوط کاهش داده و به‌دنبال آن، نسبت برابری زمین برای نخود نیز کاهش پیدا می‌کند. نیک سیرت و همکاران (Niksirat et al., 2017) نیز در پژوهشی بر روی غلات و حبوبات نتیجه گرفتند، که رقابت اصلی بین رقم‌های جو با نخود و باقلا بر سر جذب نور می‌باشد. جو نسبت به نخود و باقلا سریع‌تر جوانه می‌زند و سطح زمین را می‌پوشاند، بنابراین در طول فصل رشد بر روی نخود و باقلا سایه‌اندازی دارد، که این سبب یک برتری در جذب نور برای جو شده و با افزایش مقدار فتوسنتز برتری عملکردی گیاه جو را رقم می‌زنند.

در برخی از بررسی‌هایی که بر روی کشت مخلوط گندم یا جو با نخود یا ماشک انجام شده، نسبت برابری زمین غلات روی نسبت برابری زمین حبوبات اثر منفی داشته است. همچنین، در تحقیقاتی که بر روی کشت مخلوط گندم یا جو با حبوبات انجام شد، نیتروژن به‌فرم شیمیایی بر نسبت برابری زمین حبوبات تأثیر منفی داشت (Pelzer et al., 2014). بر اساس نتایج به‌دست آمده از پژوهش محسن آبادی و

همکاران (Mohsen Abadi et al., 2008) بـر روی کشـت مخلـوط جو/ماشک، بالاترین میـزان نسـبت برابـری زمـین (LER=1.14) در تیمار عدم کاربرد نیتروژن مشاهده شد. مطابق با یافته‌هـای پـژوهش حاضر، با کاربرد نیتروژن به‌فرم شیمیایی، سـودمندی کشـت مخلـوط کاهش یافت. همچنین، هم‌روند با نتایج پژوهش حاضر، پژوهش راعی و همکـاران (Raei et al., 2020) بـر روی کشـت مخلـوط لوبیـا (*Phaseolus vulgaris* L.) و خـردل سـیاه (*Brasassica nigra* L.) نشان داد، بیشترین نسبت برابری زمین در تیمار کود تلفیقی (کود زیستی ازتوبارور ۱ و ۲ + کاربرد کامل کود شیمیایی نیتروژن) به‌دست آمد. نتایج به‌دست آمده از پژوهش مشابه دیگری نیز نشان داد کـه در سیستم کشت مخلوط گلرنگ و باقلا، بیشترین میزان نسـبت برابـری زمین در تیمار کود تلفیقی (کود زیستی ازتوبارور ۱ و فسفات بارور ۲ + ۶۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن و سوپرفسـفات تریپـل) حاصـل شـد (Saeidi et al., 2018).

جدول ۷- اثرات رژیم آبیاری و سامانه کودی بر نسبت برابری زمین، غالبیت و نسبت رقابتی در کشت مخلوط تریتیکاله و نخود

Table 7- Effects of irrigation regime and fertilizer system on the land equivalent ratio (LER), aggressivity (A), and competitive ratio (CR) of triticale and chickpea

تیمار Treatment	نسبت برابری زمین LER			غالبیت A		نسبت رقابتی CR	
	تریتیکاله Triticale	نخود Chickpea	کل Total	تریتیکاله Triticale	نخود Chickpea	تریتیکاله Triticale	نخود Chickpea
رژیم آبیاری Irrigation regime (Ir)							
مطلوب Normal	0.58[b*]	0.49[b]	1.07[b]	0.08[a]	-0.08[b]	1.23[a]	1.02[a]
تنش آبی Water stress	0.81[a]	0.81[a]	1.62[a]	0.00[a]	0.00[a]	1.01[a]	0.85[a]
سامانه کودی Fertilizer system (Fs)							
شیمیایی £ Chemical	0.72[a]	0.56[b]	1.28[a]	0.32[a]	-0.32[b]	1.37[a]	0.77[b]
تلفیقی ££ Integrated	0.70[a]	0.71[a]	1.41[a]	-0.03[b]	0.03[a]	0.99[b]	1.01[a]
زیستی- آلی ¥ Bio-organic	0.67[a]	0.68[a]	1.35[a]	-0.02[b]	0.02[a]	1.00[b]	1.02[a]

* میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون چند دامنه‌ای جدید دانکن، تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

£: کود شیمیایی (۵۰ کیلوگرم فسفر بر هکتار و ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن برهکتار) ، ££: کود تلفیقی (۲۵ کیلوگرم فسفر بر هکتار، ۷۵ کیلوگرم نیتروژن بر هکتار و۲۰ تن کود گوسفندی بر هکتار + تلقیح با باکتری‌های *سودوموناس فلورسنس* و *آزوسپیریلوم براسیلنس*) ، ¥: کود زیستی- آلی (۴۰ تن بر هکتار کود گوسفندی، تلقیح با باکتری‌های *سودوموناس فلورسنس* و *آزوسپیریلوم براسیلنس*)

* Means in each column followed by the same letters are not significantly different at 5% probability level using the Duncan's new multiple range test. £: Chemical (50 kg P.ha^{-1} and 150 kg N.ha^{-1}), ££: Integrated (25 kg P.ha^{-1}, 75 kg N.ha^{-1} and 20 ton.ha^{-1} of sheep manure + inoculation with *Pseudomonas fluorescens* and *Azospirillum brasilense*), ¥: Bio-organic (40 ton.ha^{-1} of sheep manure + inoculated with *Pseudomonas fluorescens* and *Azospirillum brasilense*)

غالبیت

شاخص غالبیت (A) حاصل تفریق نسبت برابری زمین در غلـه و لگوم است (جدول ۴) و به‌کمک این شاخص، میزان محصـول اضـافه تولید شده توسط هر گیاه، نسبت به گیاه دیگر در کشت مخلوط تعیین می‌شود (Foster & Gilchrist., 1965). گیاه غالب الزاماً گیـاهی بـا زیست‌توده بیشتر نیست. بلکه گیاهی اسـت کـه شـاخ و بـرگ آن در وضعیت مناسب‌تری نسبت به سایر گیاهان رقابت‌کننـده قـرار گرفتـه باشد. مثلاً، رقابت برای نور، باعث کاهش نور مـؤثر مـورد نیـاز بـرای فتوسنتز گیاه مغلوب می‌شود (Mazaheri, 1998).

نتایج تجزیه واریانس نشان داد، غالبیت تریتیکاله و نخود بـه‌طـور معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد تحت تأثیر سامانه کودی قـرار گرفت (جدول ۵). شاخص غالبیت تریتیکاله در شرایط استفاده از کـود شیمیایی نیتروژن مثبت بود و بیشترین مقدار را نشـان داد. بـا کـاربرد کود تلفیقی و زیستی- آلی شاخص غالبیت تریتیکاله به‌طور معنی‌داری

نسبت به شرایط کاربرد کود نیتروژن کاهش یافت. اگر چه شاخص غالبیت تریتیکاله در شرایط استفاده از کود زیستی- آلی کمتر از شرایط استفاده از کود تلفیقی بود، امّا این دو تفاوت معنی‌داری را نشان ندادند (جدول ۷). در مقابل، شاخص غالبیت در گیاه نخود در پاسخ به کاربرد سامانه‌های مختلف کودی، روند متفاوتی را نشان داد. به‌طوری‌که، در شرایط استفاده از کود زیستی- آلی بیشترین شاخص غالبیت نخود مشاهده شد. اگرچه کاربرد کود زیستی- آلی و تلفیقی تفاوت معنی‌داری به لحاظ این صفت نشان ندادند. امّا، در شرایط کاربرد کود شیمیایی شاخص غالبیت نخود به‌طور معنی‌داری نسبت به سامانه‌های تلفیقی و زیستی- آلی کاهش یافت (جدول ۶).

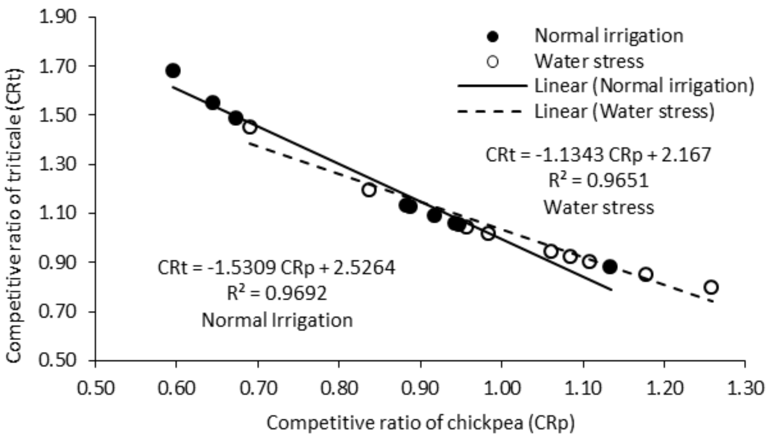
در شرایط کشت هم‌زمان تریتیکاله و نخود (مانند شرایط آزمایش حاضر)، جوانه‌زنی تریتیکاله سریع‌تر از نخود رخ می‌دهد و بنابراین، ریشه‌های آن قبل از نخود در خاک گسترش می‌یابد (Karpenstein-Machan et al., 2000). از این رو، در تیمارهایی که کود شیمیایی کامل دریافت کرده‌اند، نسبت به تیمارهای تلفیقی و زیستی- آلی، تریتیکاله در مراحل اولیه رشد رویشی، از نیتروژن قابل دسترس در خاک استفاده بیشتری می‌کند و جذب بیشتر نیتروژن سبب رشد اولیه رویشی بیشتر تریتیکاله و برتری رقابتی آن نسبت به نخود می‌شود. امّا، در تیمارهای کود تلفیقی و زیستی- آلی، با توجه به رهاسازی آهسته کود نیتروژن و سایر عناصر مورد نیاز توسط کودهای آلی، تریتیکاله نمی‌تواند از اختلاف فازی که در جوانه‌زنی با نخود دارد، بهره ببرد و برتری رقابتی پیدا کند.

در طول فصل رشد نیز به‌دلیل رهاسازی آهسته عناصر غذایی در کودهای زیستی- آلی و تلفیقی و برآورده نشدن نیاز نیتروژنی تریتیکاله، این گیاه نمی‌تواند به برتری رقابتی دست یابد. در مقابل، گیاه نخود به‌دلیل نیاز کمتر به کود نیتروژن می‌تواند از روند آهسته آزادسازی نیتروژن و سایر عناصر غذایی در تیمارهای تلفیقی و زیستی- آلی حداکثر بهره را برده و غالبیت جزئی بیابد. به عبارت کوتاه‌تر، می‌توان گفت که با توجه به نیاز کودی متفاوت تریتیکاله و نخود، تولید زیست‌توده و سایه‌اندازی تریتیکاله در تیمارهای تلفیقی و زیستی- آلی نسبت به تیمار کود شیمیایی کمتر شده و در نتیجه، غالبیت نخود نسبت به تریتیکاله افزایش جزئی پیدا کرده است. نیتروژن تأثیر خود را از طریق تغییر دادن گونه غالب نشان می‌دهد (Gliessman, 2001).

نتایج بعضاً متناقضی در مورد اثر منابع نیتروژن بر غالبیت غلات یا حبوبات در کشت مخلوط آن‌ها گزارش شده است. به‌عنوان مثال، برخی از تحقیقات نشان دادند که در کشت مخلوط غلات و حبوبات، معمولاً غلات به‌عنوان گیاه غالب و حبوبات به‌عنوان گیاه مغلوب شناخته می‌شوند (Haynes, 1980). در مقابلً نتایج برخی دیگر از پژوهش‌ها (Nakhzari Moghaddam, 2016; Banik et al., 2006) نشان داد که، در کشت مخلوط جو و نخودفرنگی با کاربرد کود شیمیایی نیتروژن، جو گیاه غالب و نخودفرنگی گیاه مغلوب بود. امّا در پژوهش دیگری (Mariotti et al., 2006) بر روی کشت مخلوط گندم/ماشک و جو/ماشک در سامانه کودی زیستی، رقابت بین گونه‌ای مشاهده شد و غالبیت غلات کمتر از حبوبات بود.

نسبت رقابتی

استفاده از شاخص نسبت رقابتی (CR) روش دیگری برای ارزیابی رقابت، بین گونه‌های مختلف است (Willey & Rao, 1980). موفقیت یک گیاه در رقابت با سایر گیاهان، به سرعت رشد ریشه، میزان رشد نسبی شاخساره و تقاضای گیاه برای آب بستگی دارد (Mazaheri, 1998). این شاخص برای هر کدام از اجزای کشت مخلوط، از تقسیم نسبت برابری زمین یکی از اجزای کشت مخلوط بر نسبت برابری زمین جزء دیگر کشت مخلوط به‌دست می‌آید (جدول ۳). طبق معادله نسبت رقابتی (جدول ۳) و با توجه به یکسان بودن نسبت کاشت تریتیکاله به نخود (۱:۱)، نسبت رقابتی هر گیاه، رابطه مستقیمی با نسبت برابری زمین آن گیاه دارد. شاخص نسبت رقابتی در تریتیکاله و نخود در شرایط مطلوب رطوبتی و تنش آبی دارای رابطه منفی خطی با یکدیگر بودند (شکل ۶). وجود رابطه منفی در این شاخص را برخی دیگر از پژوهشگران نیز تأیید کرده‌اند (Niksirat et al., 2018; Mohavieh Asadi et al., 2019).



شکل ٦- رابطه نسبت رقابتی تریتیکاله و نخود تحت آبیاری مطلوب و تنش آبی

Fig. 6- The relationship between the competitive ratio of triticale and chickpea under regular irrigation and water stress conditions

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که نسبت رقابتی تریتیکاله و نخود به‌طور معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر سامانه کودی قرار گرفتند (جدول ۶). تریتیکاله و نخود در سامانه‌های کودی تلفیقی و زیستی- آلی نسبت به شاهد (کود شیمیایی نیتروژن) رفتار متفاوتی را نشان دادند. که احتمالاً به‌دلیل تفاوت در نیاز کودی آن‌ها می‌باشد. معمولاً غلات از جمله تریتیکاله به مقدار زیاد نیتروژن در خاک واکنش مثبت نشان می‌دهند، امّا همان میزان نیتروژن خاک باعث کندی فعالیت باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن شده و احتمالاً به‌علت عدم دسترسی یکنواخت گیاه در سرتاسر فصل رشد به منبع نیتروژن، رشد گیاه نخود را کاهش می‌دهد (Mazaheri, 1999). بنابراین، با افزایش قابلیت دسترسی به نیتروژن که معمولاً با کاربرد کودهای شیمیایی حاصل می‌شود، ظرفیت رقابتی غلات زیاد می‌شود و نسبت رقابتی آن‌ها افزایش پیدا می‌کند، درحالی‌که با دسترسی آهسته‌تر به نیتروژن که در شرایط استفاده از کودهای تلفیقی و به‌ویژه کود زیستی رخ می‌دهد، توانایی رقابتی غلات کاهش پیدا کرده، در نتیجه نسبت رقابتی کمتری به‌دست می‌آید (Dhima et al., 2007).

همچنین، در شرایط استفاده از کودهای زیستی- آلی و تلفیقی، حبوبات که نیاز کمتری به نیتروژن دارند و روند آهسته در آزادسازی نیتروژن از کودهای زیستی- آلی و تلفیقی تأمین‌کننده نیاز آن‌ها است، از توانایی رقابتی بیشتری نسبت به شرایط استفاده از کود شیمیایی برخوردار خواهند شد. در پژوهشی بر روی کشت مخلوط کلزا و نخود فرنگی تحت سطوح مختلف کود نیتروژن (۱۰۰ ، ۷۵ و ۵۰ کیلوگرم بر هکتار)، برتری رقابتی کلزا نسبت به نخود فرنگی مشاهده شد (Fallah et al., 2014). همچنین هم‌روند با نتایج پژوهش حاضر، پژوهش دیگری نشان داد، در کشت مخلوط غلات و سویا، با افزایش سطح نیتروژن، نسبت رقابتی سویا کاهش پیدا کرد، که این کاهش نسبت رقابتی سویا ممکن است به‌دلیل افزایش رقابت بین اجزای کشت مخلوط در شرایط کاربرد بالای کود نیتروژن باشد (Layek et al., 2014).

بهره‌وری سیستم

بهره‌وری سیستم (SPI[1]) شاخصی است که برای ارزیابی اجزای کشت مخلوط استفاده می‌شود و عملکرد محصول ثانویه را بر حسب محصول اولیه استاندارد می‌کند (Agegnehu et al., 2006). نتایج تجزیه واریانس نشان داد، برهم‌کنش رژیم آبیاری × سامانه کودی اثر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بر این شاخص داشت (جدول ۶). در شرایط آبیاری مطلوب، بیشترین میزان بهره‌وری سیستم (۴۹۷۹/۲) در تیمار کود تلفیقی به‌دست آمد که اختلاف معنی‌داری با دو منبع دیگر کودی داشت و کمترین میزان بهره‌وری سیستم (۳۹۱۴/۷) در کود تیمار زیستی- آلی به‌دست آمد (شکل ۷). در شرایط تنش آبی، بیشترین میزان بهره‌وری سیستم در تیمار کود تلفیقی (۳۴۳۱/۰) به‌دست آمد که اختلاف معنی‌داری با تیمار کود زیستی- آلی نداشت. امّا، با کمترین مقدار شاخص بهره‌وری سیستم که در تیمار کود شیمیایی (۱۹۱۰/۱) به‌دست آمد، اختلاف معنی‌دار نشان داد

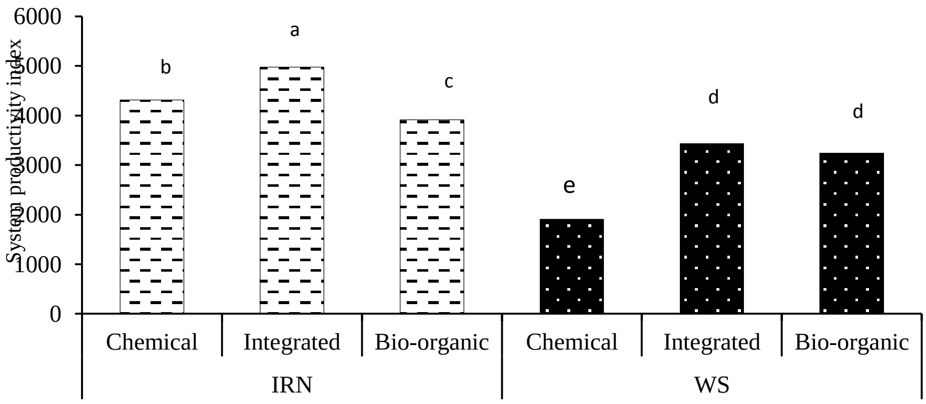
1- System productivity index

(شکل ۷).

طبق معادله شاخص بهره‌وری سیستم (جدول ۴)، با توجه به اینکه عملکرد حبوبات در کشت خالص و مخلوط، با عدد به‌دست آمده از معادله شاخص بهره‌وری سیستم رابطه مستقیمی دارد، از این رو، با توجه به اینکه بیشترین عملکرد دانه نخود مربوط به تیمار کود تلفیقی و تحت آبیاری مطلوب بوده، بیشترین میزان شاخص بهره‌وری سیستم نیز در این تیمار مشاهده شد. مطالعات زیادی برتری تیمارهای تلفیقی را نشان داده‌اند. از جمله، دودمان و همکاران (Doodeman et al., 2020) در پژوهشی بر روی کشت مخلوط جو و خلر نشان دادند، بیشترین شاخص بهره‌وری سیستم در تیمار کود تلفیقی (سوپر فسفات تریپل + فسفات زیستی بارور ۲) در شرایط تنش آبی به‌دست آمد. همچنین، در پژوهش مشابهی که بر روی کشت مخلوط گلرنگ/باقلا انجام شد، بیشترین بهره‌وری سیستم در سامانه کودی تلفیقی (۶۰ درصد کود شیمیایی + کود زیستی) و در شرایط آبیاری مطلوب به‌دست آمد (Saeidi et al., 2019). در پژوهش دیگری بر روی کشت مخلوط گلرنگ/گاودانه (*Vicia ervilia* L.)، بیشترین بهره‌وری سیستم در سامانه کودی تلفیقی (کود گاوی + کود زیستی) با آبیاری مطلوب مشاهده شد (Jalilian et al., 2016). روستایی و همکاران (Rosataei et al., 2019) نتیجه گرفتند، کاربرد کود آلی رقابت بین سیاهدانه (*Nigella sativa*) شنبلیله (*Trigonella foenum*) را در کشت مخلوط کاهش می‌دهد، بنابراین بیشترین بهره‌وری سیستم را در سامانه کودی تلفیقی (کود شیمیایی + کود آلی) به‌دست آوردند. همچنین مجیدیان و همکاران (Majidian et al., 2009) در پژوهشی تحت شرایط تنش آبی نشان دادند که با کاربرد تلفیقی کودهای شیمیایی و دامی، علاوه‌بر افزایش عملکرد دانه ذرت، می‌توان به کاهش استفاده از کودهای شیمیایی و بهبود ساختار خاک کمک کرد.

تنش آبی باعث کاهش ۵۵/۷، ۳۱ و ۱۷/۱ درصدی شاخص بهره‌وری سیستم به‌ترتیب در شاهد (شیمیایی) و تیمارهای تلفیقی و زیستی- آلی شد (شکل ۷). کاهش بیشتر شاخص بهره‌وری سیستم در شرایط استفاده از کود شیمیایی (۵۵/۷ درصد) نشان می‌دهد، حساسیت سامانه کشت مخلوط به تنش آبی در شرایط استفاده از کود نیتروژن نسبت به شرایط استفاده از کود زیستی- آلی و تلفیقی بیشتر بوده است. بارکر (Barker, 2016) معتقد است که هر چه از کود شیمیایی نیتروژن در مقادیر بالاتری استفاده شود، نیتروژن از طریق تأثیر بر روی تعادل هورمونی گیاهان، سبب افزایش رشد شاخساره‌ها شده و از رشد ریشه‌ها ممانعت می‌کند. به عبارتی، نسبت رشد اندام-های هوایی به ریشه افزایش می‌یابد. این عدم تعادل در رشد اندام-های هوایی نسبت به ریشه سبب تعرق بیشتر گیاهان در سامانه کشت مخلوط شده و خیلی سریع (نسبت به سامانه‌های دیگر کودی: زیستی- آلی و تلفیقی) نیمرخ خاک را از آب تهی می‌کند. بنابراین، گیاهان حساسیت بیشتری نسبت به تنش آبی به‌ویژه تنش آبی انتهای فصل پیدا می‌کنند. در نتیجه، در شرایط استفاده از کود شیمیایی نسبت به شرایط استفاده از کود زیستی- آلی و تلفیقی اثرات منفی تنش آبی تشدید می‌شود و بهره‌وری سیستم کاهش پیدا می‌کند. نتایجی مشابه از سایر پژوهش‌ها (Ercoli et al., 2008; Herwaarden, 1998; Niazi Ardakani et al., 2020) یافته‌های پژوهش حاضر را تأیید می کنند.

با توجه به نتایج پژوهش حاضر، کمترین درصد کاهش بهره‌وری سیستم به‌واسطه شرایط تنش آبی، نسبت به شرایط مطلوب رطوبتی، مربوط به تیمار کود زیستی- آلی (۱۷/۱ درصد) و سپس کود تلفیقی (۳۱ درصد) بود (شکل ۷). این کاهش کمتر می‌تواند به‌واسطه استفاده از کود حیوانی به‌عنوان ماده آلی باشد که سبب افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک شده و این مورد در کنار اثراتی که باکتری‌های *آزوسپیریلوم براسیلنس* و *سودوموناس فلورسنس* در کاهش اثرات نامطلوب تنش آبی داشته است، سبب کاهش اثرات مخرب تنش و بنابراین، کاهش کمتر شاخص بهره‌وری سیستم در شرایط تنش آبی نسبت شرایط مطلوب رطوبتی شده است. در همین راستا، گشسبی و همکاران (Goshasbi et al., 2021) در پژوهشی نتیجه گرفتند که استفاده از کودهای زیستی به‌ویژه *آزوسپیریلوم* و *سودوموناس* می‌تواند اثرات منفی تنش آبی را در گیاه آویشن (*Thymus vulgaris* L.) را کاهش می‌دهد. همچنین، در مورد اثرات مثبت مواد آلی بر کاهش اثرات تنش آبی، برخی از مطالعات نشان دادند که مواد آلی از طریق تشکیل خاکدانه‌ها و حفظ ساختمان خاک، منجر به افزایش ظرفیت آب قابل دسترس ریشه می‌شود (Huntington, 2006).



شکل ۷- شاخص بهره‌وری سیستم در کشت مخلوط تریتیکاله و نخود

Figure 6- System productivity index of triticale and chickpea intercropping

میانگین‌های با حروف مشابه بر اساس آزمون چند دامنه‌ای جدید دانکن، تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

شیمیایی: ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن + ۵۰ کیلوگرم در هکتار فسفر ، تلفیقی: ۷۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن + ۲۵ کیلوگرم در هکتار فسفر + ۲۰ تن در هکتار کود گوسفندی + تلقیح بذر با باکتری‌های *آزوسپریلوم براسیلنس* و *سودوموناس فلورسنس*، زیستی- آلی: ۴۰ تن در هکتار کود گوسفندی + تلقیح بذر با باکتری‌های *سودوموناس فلورسنس* و *آزوسپریلوم براسیلنس*، IR_N: آبیاری مطلوب و WS: تنش آبی

The means followed by the same letters are not significantly different at 5% probability level using the Duncan's new multiple range test. Chemical: 150 kg N.ha^{-1} + 50 kg P.ha^{-1}, Integrated: 75 kg N.ha^{-1} + 25 kg P.ha + 20 ton.ha^{-1} of sheep manure + seed inoculation with *Azospirillum brasilense* and *Pseudomonas fluorescens*, Bio-organic: 40 ton.ha^{-1} of sheep manure + seed inoculation with *Pseudomonas fluorescens* and *Azospirillum brasilense*, IR_N: regular irrigation and WS: water stress

نتیجه‌گیری

در شرایط آبیاری مطلوب با توجه به اینکه بیشترین عملکرد تریتیکاله و نخود به‌واسطه کاربرد کود تلفیقی (۷۵ کیلوگرم بر هکتار کود نیتروژن + ۲۵ کیلوگرم بر هکتار سوپرفسفات تریپل + ۲۰ تن بر هکتار کود آلی + تلقیح با باکتری‌های *سودوموناس فلورسنس* و *آزوسپیریلوم براسیلنس*) به‌دست آمد، استفاده از این سامانه کودی در شرایط آبیاری مطلوب توصیه می‌شود. بررسی نتایج آزمایش حاضر نشان داد، قطع آبیاری پس از مرحله شیری، تنش شدیدی را در دوره پر شدن دانه بر تریتیکاله و نخود وارد کرد و موجب کاهش عملکرد دانه در هر دو گیاه شد. برهم‌کنش آبیاری × سامانه کودی در مورد تریتیکاله و نخود نشان داد، کمترین کاهش عملکرد دانه تریتیکاله (۳۰/۷ درصد) و نخود (۲۷ درصد) به‌واسطه تنش آبی در مقایسه با آبیاری مطلوب، در تیمار کود زیستی- آلی مشاهده شد. برهم‌کنش آبیاری × الگوی کاشت در مورد عملکرد دانه تریتیکاله و نخود نیز نشان داد که کمترین کاهش عملکرد دانه تریتیکاله (۳۸/۲ درصد) و نخود (۲۴/۳ درصد) به‌واسطه تنش آبی نسبت به آبیاری مطلوب در تیمار کشت مخلوط به‌دست آمد (در مقایسه با کشت خالص آن‌ها). تنش آبی انتهای فصل باعث افزایش نسبت برابری زمین تریتیکاله، نخود و کل نسبت به شرایط مطلوب رطوبتی به‌ترتیب به‌میزان ۳۹/۶، ۶۵/۳ و ۵۱/۴ درصد شد. بیشترین و کمترین درصد کاهش بهره‌وری سیستم در شرایط تنش آبی نسبت به آبیاری مطلوب، به‌ترتیب در تیمار کود شیمیایی (۵۵/۷ درصد) و زیستی- آلی (۱۷/۱ درصد) مشاهده شد. بر اساس نتایج به‌دست آمده از این پژوهش می‌توان نتیجه گرفت، در شرایط تنش آبی کشت مخلوط بر کشت خالص برتری داشت. همچنین، کاربرد کود زیستی- آلی، نسبت به کود تلفیقی و شیمیایی در شرایط تنش آبی سبب کاهش اثرات منفی تنش آبی شد. بنابراین، استفاده از کود زیستی (باکتری‌های *آزوسپیریلوم براسیلنس* و *سودوموناس فلورسنس* به همراه کود گوسفندی)، نه تنها اثرات منفی تنش آبی (قطع آبیاری) را تعدیل می‌کند، بلکه موجب کاهش استفاده بی‌رویه از کودهای شیمیایی شده و اثرات مخرب زیست‌محیطی را کاهش می‌دهد و گامی مؤثر در راستای رسیدن به کشاورزی پایدار است.

References

1. Abalos, D., Jeffery, S., Sanz-Cobena, A., Guardia, G., & Vallejo, A. (2014). Meta-analysis of the effect of urease and nitrification inhibitors on crop productivity and nitrogen use efficiency. *Agriculture Ecosystem and Environment*, *189*, 136-144. https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.03.036 .
2. Agegnehu, G., Ghizaw, A., & Sinebo, W. (2006). Yield performance and land-use efficiency of barley and faba bean mixed cropping in Ethiopian highlands. *European Journal Agronomy*, *25*(3), 202-207. https://doi.org/10.1016/j.eja.2006.05.002.
3. Alizadeh, A. (2001). Soil-water-plant relationship. Emam Reza University, Mashhad, Iran. (In Persian)
4. Ashrafi-Saeidlou, S., Rasouli-Sadaghiani, M.H., Asadzadeh, F., & Barin, M. (2017). Modeling phosphate solubilization by *Pseudomonas fluorescens* using response surface methodology. *Water and Soil Science*, *26*(4.2), 299-324. (In Persian)
5. Atieno, M., Herrmann, L., Nguyen, H.T., Phan, H.T., Nguyen, N.K., Srean, P., Than, M.M., Zhiyong, R., Tittabutr, P., Shutsrirung, A., Brau, L., & Lesueur, D. (2020). Assessment of biofertilizer use for sustainable agriculture in the Great Mekong region. *Journal of Environmental Management*, *275*, 111300. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111300 .
6. Banik, P., Midya, A., Sarkar, B.K., & Ghose, S.S. (2006). Barley and pea intercropping systems in an additive series experiment: Advantages and weed smothering. *European Journal of Agronomy*, *24*, 325-332.
7. Barati, S., Basiri, M., Vahabi, M.R., & Mosadeghi, M.R. (2020). Effects of plant density and drought stress on alfalfa leaf water potential (*Medicago sativa* L.) and flesh grass (*Bromus tomentellus* Boiss) and soil weight moisture in solecropping and intercropping. *Rangeland*, *13*(1), 65-75. (In Persian with English Summary)
8. Barati, V., & Bijanzadeh, E. (2020). Grain yield and its components of triticale as affected by silicon foliar application, nitrogen fertilizer and water stress in reproductive phase. *Iranian Journal of Field Crop Research*, *18*(4), 435-439. https://doi.org/10.22067/jcesc.2020.88386 .
9. Barati, V., & Ghadiri, H. (2016). Effects of drought stress and nitrogen fertilizer on yield, yield components and grain protein content of two barley cultivars. Isfahan University of Technology-*Journal of Crop Production and Processing*, *6*(20), 191-207. http://dx.doi.org/10.18869/acadpub.jcpp.6.20.191 (In Persian with English Summary)
10. Barati, V., Ghadiri, H., Zand-Parsa, S., & Karimian, N. (2015). Nitrogen and water use efficiencies and yield response of barley cultivars under different irrigation and nitrogen regimes in a semi-arid mediterranean climate. *Archives of Agronomy and Soil Science*, *61*(1), 15-32. https://doi.org/10.1080/03650340.2014.921286 .
11. Barker, A.V. (2016). Science and Technology of Organic Farming. Emam Reza University, Mashhad, Iran. (In Persian)
12. Basu, A., Prasad, P., Das, S.N., Kalam, S., Sayyed, R.Z., Reddy, M.S. & El Enshasy, H. (2021). Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) as green bioinoculants: Recent developments, constraints, and prospects. *Journal of Sustainability*, *13*(3), 1140. https://doi.org/10.3390/su13031140 .
13. Bedoussac, L., & Justes, E. (2011). A comparison of commonly used indices for evaluating species interactions and intercrop efficiency: Application to durum wheat–winter pea intercrops. *Field Crops Research*, *124*(1), 25-36. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2011.05.025
14. Benjamin, J.G., & Nielsen, D.C. (2006). Water deficit effects on root distribution of soybean, Field pea, and chickpea. *Field Crops Research*, *97*(2-3), 248-253. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2005.10.005 .
15. Carranca, C., De Varennes, A., & Rolston, D. (1999). Biological nitrogen fixation by fababean, pea, and chickpea, under field conditions, estimated by the 15N isotope dilution technique. *European Journal of Agronomy* *10*(1), 49-56. https://doi.org/10.1016/S1161-0301(98)00049-5
16. Cowell, L.E., Bremer, E., & Kessel, C.V. (1989). Yield and N fixation of pea and lentil as affected by intercropping and N application. *Canadian Journal of Soil Science*, *69*(2), 243-251. https://doi.org/10.4141/cjss89-025 .
17. Cowell, L.E., Bremer, E., & Kessel, C.V. (1989). Yield and N fixation of pea and lentil as affected by intercropping and N application. *Canadian Journal of Soil Science*, *69*(2), 243-251.
18. Cui, Z., Zhang, F., Chen, X., Dou, Z., & Li, J. (2010). In-season nitrogen management strategy for winter wheat: Maximizing yields, minimizing environmental impact in an over-fertilization context. *Field Crops Research*, *116*(1-2), 140-146. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2009.12.004 .
19. Dhima, K.V., Lithourgidis, A.S., Vasilakoglou, I.B., & Dordas, C.A. (2007). Competition indices of common

vetch and cereal intercrops in two seeding ratio. *Field Crops Research, 100*, 249-256. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2006.07.008 .

20. Di Salvo, L.P., Ferrando, L., Fernandez-Scavino, A., & De Salamone, I.E.G. (2018). Microorganisms reveal what plants do not: Wheat growth and rhizosphere microbial communities after *Azospirillum brasilense* inoculation and nitrogen fertilization under field conditions. *Plant and Soil, 424*(1), 405-417. https://doi.org/10.1007/s11104-017-3548-7 .
21. Dolkhani, F., Bijanzadeh, E., Boostani, H.R., & Behpouri, A. (2021). Effect of nitrogen-fixing bacteria on yield and some macronutrients of two barley cultivars. *Soil Management and Sustainable Production, 11*(1), 117-134. https://doi.org/10.22069/ejsms.2021.18110.1959 . (In Persian with English Summary)
22. Doodeman, A., Mirshekari, B., Taheri, M., Farahvash, F., & Moradi, P. (2020). Effects of P organic and chemical fertilizers on yield and productivity indicators in barley and grass pea intercropping under Rainfed conditions. *Iranian Journal of Crop Science, 51*(3), 139-149. (In Persian with English Summary)
23. Duchene, O., Vian, J.F., & Celette, F. (2017). Intercropping with legume for agroecological cropping systems: Complementarity and facilitation processes and the importance of soil microorganisms. *Agriculture, Ecosystems and Environment, 240*, 148-161. https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.02.019 .
24. Ercoli, L., Lulli, L., Mariotti, M., Masoni, A., & Arduini, I. (2008). Post-anthesis dry matter and nitrogen dynamics in durum wheat as affected by nitrogen supply and soil water availability. *European Journal of Agronomy, 28*, 138-147. https://doi.org/10.1016/j.eja.2007.06.002 .
25. Fallah, S.A., Baharlooii, S., & Sooraki, A.A. (2014). Evaluation of competitive and economic indicators of intercropping of rapeseed (*Brassica napus* L.) and chickpeas (*Pisum sativum* L.) under different amounts of nitrogen fertilizer. *Journal of Agroecology, 6*(3), 571-581. https://doi.org/10.22067/jag.v6i3.23941 . (In Persian with English Summary)
26. Fetene, M. (2003). Intra-and inter-specific competition between seedlings of *Acacia etbaica* and a perennial grass (*Hyparrenia hirta*). *Journal of Arid Environments, 55*(3), 441-451. https://doi.org/10.1016/S0140-1963(03)00052-1 .
27. Foster, R.D., & Gilchrist, M.C. (1965). First single cluster corrosion test WANL hydrogen corrosion test facility *(No. WANL-TME-1072). Westinghouse* Electric Corp., Pittsburgh, Pa. (USA). Astronuclear Lab.
28. Gliessman, S.R., (2001). Agroecology. Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. (In Persian)
29. Goshasbi, F., Heidari, M., Sabbagh, S.K., & Hassan Makarian, H. (2021). Effect of water deficit stress and bio and non-bio-fertilizers on flowering branches yield, photosynthetic pigments and concentration of macro elements in thyme (*Thymus vulgaris* L.). *Iranian Crop Science, 52*(2), 157-172. (In Persian with English Summary)
30. Grimes, D.W., Yamada, H., & Hughes, S.W. (1987). Climate-normalized cotton leaf water potentials for irrigation scheduling. *Agricultural Water Management, 12*(4), 293-304. https://doi.org/10.1016/0378-3774(87)90004-7 .
31. Hauggaard-Nielsen, H., & Jensen, E.S. (2001). Evaluating pea and barley cultivars for complementarily in intercropping at different levels of N availability. *Field Crop Research, 72*(3), 185-196. https://doi.org/10.1016/S0378-4290(01)00176-9 .
32. Hauggaard-Nielsen, H., & Jensen, E.S. (2005). Facilitative root interactions in intercrops In Root physiology from gene to function. *Springer, 274*, 237-250. https://doi.org/10.1007/1-4020-4099-7_13 .
33. Hauggaard-Nielsen, H., Ambus, P., & Jensen, E.S. (2001). Interspecific competition, N use and interference with weeds in pea-barley intercropping. *Field Crops Research, 70*(2), 101-109. https://doi.org/10.1016/S0378-4290(01)00126-5 .
34. Haynes, R.J., (1980). Competitive aspects of the grass-legume association. *Advances in Agronomy, 33*, 227-261. https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60168-6 .
35. Herridge, D.F., Marcellos, H., Felton, W.L., Turner, G.L., & Peoples, M.B. (1995). Chickpea increases soil-N fertility in cereal systems through nitrate sparing and N_2 fixation. *Soil Biology and Biochemistry, 27*(4-5), 545-551. https://doi.org/10.1016/0038-0717(95)98630-7 .
36. Herwaarden, A.F.V. (1995). Carbon, Nitrogen and Water dynamics in dryland Wheat, with particular reference to haying-off.
37. Herwaarden, A.F.V., Farquhar, G.D., Angus, J.F., Richards, R.A., & Howe, G.N. (1998). Haying off, the negative grain yields response of dry land wheat to N fertilizer. I. Biomass, grain yield, and water use. *Australian Journal of Agricultural Research, 49*(1), 1067-1081. https://doi.org/10.1071/A97039 .

38. Hosseinali pour, B., Rahnama, A., & Farokhian Firouzi, A. (2020). The effect of drought stress on the growth and architecture of wheat roots in the vegetative growth stage. Iranian Journal of Field Crop Science, 51(1), 63-75.
39. Huntington, T.G. (2006). Available water capacity and soil organic matter. *Encyclopedia of Soil Science, 1*, 139-143.
40. Jalilian, J., Najafabadi, A., & Zardashti, M.R. (2016). The effect of intercropping patterns on some quantitative and qualitative characteristics of safflower forage and Cattle in high-input and low-input cultivation systems. *Journal of Crop Improvement*, *19*(2), 445-460. https://doi.org/10.22059/jci.2017.60427 . (In Persian with English Summary)
41. Karpenstein-Machan, M., & Stuelpnagel, R. (2000). Biomass yield and nitrogen fixation of legumes monocropped and intercropped with rye and rotation effects on a subsequent maize crop. *Plant and soil*, *218*, 215-232. https://doi.org/10.1023/A:1014932004926.
42. Kumar, B.L., & Gopta, D.S. (2015). Effective role of indigenous microorganisms for sustainable environment. *3Biotech, 5*(6), 867-876. https://doi.org/10.1007/s13205-015-0293-6
43. Kumar, J., & Abbo, S. (2001). Genetics of flowering time in chickpea and its bearing on productivity in semiarid environments. *Advances in agroniomy*, *72*, 107-138. https://doi.org/10.1016/S0065-2113(01)72012-3 .
44. Layek, J., Anup, D., Ramkrushna, G.I., Venkatesh, A., Verma, B.C., Roy, A., Panwar, A.S., & Ngachan, S.V. (2014). Improving productivity of *jhum* rice through agronomic management practices. In: Book of abstracts. National seminar on shifting cultivation (*Jhum*) in 21st century: Fitness and improvement. 28-29 November, 2014, at CPGS, CAU, Umiam, Meghalaya, p 65.
45. Linquist, B.A., Liu, L., van Kessel, C., & van Groenigen, K.J. (2013). Enhanced efficiency nitrogen fertilizers for rice systems: Meta-analysis of yield and nitrogen uptake. *Field Crops Research*, *154*, 246–254. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2013.08.014 .
46. Majidian, M., Ghalavand, A., Karimian, N., & Kamkar haghighi, A.A. (2009). Effect of moisture stress, nitrogen chemical fertilizer, fertilizer and combination of nitrogen fertilizer and fertilizer on yield, yield components, and efficiency of single cross 704 corn juice. *Water and Soil Sciences*, *12*(45), 417-432. http://dorl.net/dor/20.1001.1.15625540.1387.10.3.7.4 . (In Persian with English Summary)
47. Marcellos, H., Felton, W.L., & Herridge, D.F. (1998). Chickpea in wheat-based cropping systems of northern New South Wales I. N_2 fixation and influence on soil nitrate and water. *Australian Journal of Agricultural Research*, *49*(3), 391-400. https://doi.org/10.1071/A97066 .
48. Mariotti, M., Masoni, A., Ercoli, L., & Arduini, I. (2006). Forage potential of winter cereal/legume intercrops in organic farming. *Italian Journal of Agronomy*, *1*(3), 403-412.
49. Mazaheri, D. (1998). Intercropping. Tehran University, Tehran, Iran. (In Persian)
50. Mead, R., & Willey, R. (1980). The concept of a land equivalent ratio and advantages in yields from intercropping. *Experimental Agriculture*, *16*, 217-228. https://doi.org/10.1017/S0014479700010978 .
51. Mohavieh Asadi, N., Bijanzadeh, E., & Behpouri, A. (2019). Evaluation of seed yield and competitive indices in relay intercropping of barley (*Hordeum vulgare* L.) with chickpea (*Cicer arietinum* L.) under late season low water stress. *Journal of Agroecology*, *11*(3), 1169-1182. https://doi.org/10.22067/jag.v11i3.79532 . (In Persian with English Summary)
52. Mohsen Abadi, G., Jahansooz, M., Chayichi, M., Rahmatian Mashhadi, R., Liaghat, A., & Savabeghi Firoozabadi, G. (2008). Evaluation of barley-vetch intercropping at different levels of nitrogen fertilizer. *International Journal of Agricultural Science and Technology*, *10*(1), 23-31. (In Persian with English Summary)
53. Naik, K., Mishra, S., Srichandan, H., Singh, P.K., & Sarangi, P.K. (2019). Plant growth promoting microbes: Potential link to sustainable agriculture and environment. *Biocatalysis and Agricultural biotechnology*, *21*, 101326. https://doi.org/10.1016/j.bcab.2019.101326 .
54. Nakhzari Moghaddam, A. (2016). Effect of nitrogen and different intercropping arrangements of barley (*Hordeum vulgare* L.) and pea (*Pisum sativum* L.) on forage yield and competitive indices. *Journal of Agroecology*, *8*(1), 47-58. https://doi.org/10.22067/jag.v8i1.12534 . (In Persian with English Summary)
55. Niazi Ardakani, M., Barati, V., & Bijanzadeh, E. (2019). Physiological and biochemical characteristics of barley as affected by biofertilizer, crop residues and water stress. *Plant process and function*, *9*(36), 279-298. http://dorl.net/dor/20.1001.1.23222727.1399.9.36.23.6 . (In Persian with English Summary)
56. Niazi Ardakani, M., Barati, V., Bijanzadeh, E., & Behpouri, A. (2020). Effects of different nitrogen fertilizer

sources and crop residues on yield and yield components of barley (*Hordeum vulgare* L.) under late season water stress. *Journal of Agroecology, 12*(1), 107-126. https://doi.org/10.22067/jag.v12i1.79989. (In Persian with English Summary)

57. Niksirat, H., Bijanzadeh, E., & Naderi, R. (2018). Effect of cutting off irrigation on yield and competition and economic indices of intercropping barley with legumes. *Journal of Agroecology, 10*(2), 444-458. https://doi.org/10.22067/jag.v10i2.55828 . (In Persian with English Summary)
58. Niksirat2017, S.H., Bijanzadeh, E., & Behpouri, A. (2017). Effect of cutting off irrigation on yield and advantage indices of barley intercropped with legumes. *Plant Eco physiology*, *10*(34), 46-58. (In Persian with English Summary)
59. Peksen, E., & Gulumser, A. (1995). The Importance of Intercropping in the Black Sea region and possibilities of using some edible legumes and graminae plants in intercropping system. *Technics Congress in the Development of Black Sea Region Agriculture,* 307-315.
60. Pelzer, E., Hombert, N., Jeuffroy, M.H., & Makowski, D. (2014). Meta‐ analysis of the effect of nitrogen fertilization on annual cereal-legume intercrop production. *Agronomy Journal, 106*(5), 1775-1786. https://doi.org/10.2134/agronj13.0590 .
61. Pilbeam, C.J., Wood, M., Harris, H.C., & Tuladhar, J. (1998). Productivity and nitrogen use of three different wheat-based rotations in North West Syria. *Australian Journal of Agricultural Research, 49*(3), 451-458. https://doi.org/10.1071/A97015.
62. Prasad, A.A., & Babu, S. (2017). Compatibility of *Azospirillum brasilense* and *Pseudomonas fluorescens* in growth promotion of groundnut (*Arachis hypogea* L.). *Anais da Academia Brasileira de Ciências 89*, 1027-1040. https://doi.org/10.1590/0001-3765201720160617 .
63. Raei, Y., Sayyadi Ahmadabad, M., Ghassemi-Golezani, K., & Ghassemi, S. (2020). The effect of biological and chemical nitrogen fertilizers on pinto bean (*Phaseolus vulgaris* l.) and black mustard (*Brassica nigra* l.) intercropping. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 30*(3), 21-40.
64. Reynders, L., & Vlassak, K. (1982). Use of *Azospirillum brasilense* as biofertilizer in intensive wheat cropping. *Plant and soil, 66*(2), 217-223. https://doi.org/10.1007/BF02183980.
65. Rezaei-Chiyaneh, E., Rasouli, Y., Jalilian, J., & Ghodsi, M. (2019). Evaluation of quantitative and qualitative yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.) and barley (*Hordeum vulgare* L.) in intercropping affected by biological and chemical fertilizers in supplemental irrigation condition. *Journal of Agroecology, 11*(1), 69-85. https://doi.org/10.22067/jag.v11i1.71201.
66. Rosataei, M., Fallah, S., & Abbasi Surki, A. (2019). Effect of different fertilization systems (chemical, organic and integrated) on competitive and economic indices of fenugreek and black cumin intercropping. *Plant Production Technology*, *18*(1), 159-174. (In Persian with English Summary)
67. Rupela, O.P., & Saxena, M.C. (1987). Nodulation and nitrogen fixation in chickpea. *The Chickpea*, 191-206.
68. Saeidi, M.R, Raei, Y., Amini, R., Pasban Eslam, B., & Rohi Saralan, A. (2019). Effect of nitrogenous and phosphorous biological and chemical fertilizers on growth, yield and fatty acid compositions of safflower intercropped with faba bean. *Journal of Crops Improvement, 20*(4), 769-784. https://doi.org/10.22059/jci.2018.260250.2052. (In Persian with English Summary)
69. Saeidi, M.R., Raei, Y., Amini, R., Taghizadeh, A., & Pasban Eslam, B. (2018). Evaluation of yield and protein content of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) in intercropping with faba bean (*Vicia faba* L.) under biological and chemical fertilizers. *Agricultural Knowledge and Sustainable Production, 28*(4), 247-260. (In Persian with English Summary)
70. Singh, J.S., Pandey, V.C., & Singh, D.P. (2011). Efficient soil microorganisms: A new dimension for sustainable agriculture and environmental development. *Agriculture, Ecosystems and Environment, 140*(3-4), 339-353. https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.01.017.
71. Ullah, S., Ashraf, M., Asghar, H.N., Iqbal, Z., & Ali, R. (2019). Plant growth promoting rhizobacteria-mediated amelioration of drought in crop plants. *Soil and Environment*, *38*(1), 10-20.
72. Willey, R.W., & Rao, M.R. (1980). A competitive ratio for quantifying competition between intercrops. *Experimental Agriculture*, *16*(2): 117-125. https://doi.org/10.1017/S0014479700010802.